

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Aboubakr Belkaid

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil



Mémoire pour l'obtention du diplôme

De Master en génie civil

Option : Art et Technique de **R**éhabilitation des **B**âtiment

Thème :

ETUDE DE REHABILITATION D'UN MUSEE COMPOSE

(RDC+1ETAGE) A AIN TEMOUCHENT

Présenté en juillet 2012 par :

CHEKKAF Abd elhalim

DOUZI Ismail

Devant le jury composé de :

M^r GHOMARI F.

President

M^r ALLAL M.A.

Examineur

M^{me} BENACHENHOU .

Examineur

M^r CHERIF BENMOUSSA M.Y .

Encadreur

RESUME

Ce projet présente une étude de réhabilitation d'un musée constituée d'un rez de chaussée plus un (01) étage, situé au centre ville de la wilaya d'Ain Témouchent.

Cette étude se compose de quatre parties :

La première, englobe une recherche bibliographie sur le patrimoine bâti à Ain Témouchent avec une présentation des typologies et techniques de construction de la ville, Ensuite les risques menaçant les constructions et état des lieux du patrimoine de cette ville.

La deuxième partie a été consacrée à la description de notre projet avec établissements d'un pré-diagnostic et diagnostique sur le bâtiment.

La vérification statique et dynamique de la structure a été entamée par SAP2000 afin de détermine les différentes sollicitations qui affects ce bâtiment.

La dernière partie comprend les techniques de renforcement proposé pour réhabilité ce musée.

Mots clés : patrimoine, pré-diagnostic, diagnostique, pathologie, remède

Summary

This project one present a study of rehabilitation of a museum established by a ground floor more stages, situated in the city center of the wilaya of Ain Témouchent.

This study consists of four parts :

The first one , includes a bibliographiée search on the heritage built in Ain Témouchent with a presentation of the typologies and the techniques of construction of the city, then the risks threatening the constructions and the current situation of the heritage of this city.

The second part was dedicated to the description of our project with established of a prediagnosis and diagnoses on the building .

The static check and the dynamics of the structure was begun(affected) in by SAP2000 to determine the various requests which affects this building. The last part includes the techniques of strengthening proposed to rehabilitate this museum.

Keywords: heritage, prediagnoses, diagnosis, pathology, remedy

المخلص

هذا المشروع هو عبارة عن دراسة لإعادة تأهيل متحف مكون طابق أرضى زائد طابق علوي، يقع وسط مدينة عين تموشنت.

هذه الدراسة تشمل على أربعة اقسام :

القسم الأول: يشمل على مراجع البحث عن الإرث العمراني بعين تموشنت مع عرض تصنيفات و طرق البناء المدينة،الخطر المهدد للبنىات و حالات الإرث العمراني للمدينة.

القسم الثاني: خصص للتعريف عن المشروع مع الإدلاء بقبل التشخيص و التشخيص للمتحف.

مراجعة سكون و تحركات المبنى بواسطة SAP2000 لتوضيح مختلف التأثيرات البنائية.

أما القسم الأخير: تشمل طرق التعزيز و التقوية المقترحة لإعادة تأهيل متحف.

الكلمات المفتاحية: الإرث العمراني،قبل التشخيص، التشخيص،الأعراض،العلاج.

Table des matières

Remerciements.....	2
Résumés.....	5
Abstract.....	6
ملخص.....	7
Table des matières.....	8
Liste des figures.....	11
Liste des tableaux.....	14
Introduction générale.....	15
CHAPITRE 01 : Revue bibliographique sur les bâtis de la période coloniale.	
1.1 Ville d’Ain Témouchent	19
1.1.1 Histoire de la ville d’Ain Témouchent.....	19
1.1.2 Typologie des systèmes constructifs dans la ville d’Ain Témouchent.....	20
1.1.3 Le développement du tissu urbain de l’environnement de l’ouvrage.....	22
1.1.4 Techniques de construction.....	24
1.1.5 Etat des lieux du Patrimoine de la ville d’Ain Témouchent	26
1.1.6 Identification des agents responsable des pathologies	28
1.2 Quelques désordres structurels pouvant les rencontrer dans les bâtiments anciens.....	30
CHAPITRE 02 : description de l’ouvrage	
2.1 Identification de l’immeuble.....	38
2.1.1 Historique de l’ouvrage.....	38
2.1.2 Définition urbaine.....	39
2.2 Présentation de la structure existante.....	43
2.2.1 Description de l’ouvrage.....	43

2.2.2 Description architectural	43
Relevé architecturale	
2.2.3 Description structurelle et des matériaux de construction de l'ouvrage	57
CHAPITRE 03 : Diagnostique et analyse	
3.1 Etude de diagnostique des cas pathologiques.....	62
3.1.1 Investigations in situ.....	62
3.1.2 Relevé pathologique.....	62
3.1.3 Les causes des désordres.....	67
3.2 Modélisation numérique de la structure.....	68
3.2.1 Objectif de l'étude dynamique	68
3.2.2 Le logiciel Sap 2000.....	68
3.2.3 Modélisation de la structure.....	68
3.2.4 Application du RPA 99 v 2003.....	71
3.3 Vérifications spécifiques pour l'ensemble de la structure.....	81
3.3.1 Vérification de la période.....	81
3.3.2 Résultante des forces sismiques.....	81
3.3.3 Vérification des déplacements.....	81
3.3.4 Justification de l'effet P- Δ	82
3.3.5 Vérification de la poutre.....	84
3.3.6 Vérification des poteaux	86
Chapitre 04 : Travaux et technique de réhabilitation	
4.1 Synthèses et réflexions sur l'analyse.....	90
4.2 Planning des taches.....	91
4.3 Techniques de réhabilitation	92
4.3.1 Intervention sur les murs porteurs de la structure.....	92
4.3.2 Drainage.....	97
4.3.3 Interventions sur les planchers.....	98

4.3.4 Interventions sur les poteaux.....	99
4.3.5 Etanchéité	100
4.3.6 Sanitaire.....	100
4.3.7 Cage d'escaliers.....	101
4.3.8 Intervention sur la menuiserie.....	102
4.3.9 Faux plafond.....	103
4.3.10 Revêtements de sol	103
4.3.11 Peinture.....	104
Conclusion générale.....	106

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Ville de Ain Temouchent.....	19
Figure 1.2 : Ain Temouchent centre ville	20
Figure 1.3 : La Grande Poste d'Ain Témouchent	21
Figure 1.4 : place Gambetta a Ain Témouchent	21
Figure 1.5 : plans de masse avant 1962.....	22
Figure 1.6 : plans de masse en 1962.....	22
Figure 1.7 : Plans de masse en 2010.....	23
Figure 1.8 : Plancher à ossature en bois.....	24
Figure 1.9 : Plancher à voutain avec brique creuse et faux plafond	24
Figure 1.10 : Plancher à poutrelle en béton armé encastré dans le mur	25
Figure 1.11 : Système d'assemblage en structure métallique	25
Figure 1.12 : Pathologie des anciennes bâtis.....	27
Figure 1.13 : Carte de sismicité du nord algérien	28
Figure 1.14 : fissure sur les murs des maisons	30
Figure 1.15 : fissure dues à des charges ponctuelles	31
Figure 1.16 : fissure dues à des manques de rigidité	31
Figure 1.17 : fissure dues à des différences de charges	32
Figure 1.18 : fissure des murs mixtes	32
Figure 1.19 : fissure dues au tassement différentiel	33
Figure 1.20 : fissure dues au séisme:	33
Figure 1.21 : fissure dues aux fractures verticales.....	34
Figure 1.22 : fissure dues au s'écrasement et bombements des façades.....	34
Figure 1.23 : fissure dues a la déformation des planches.....	35
Figure 1.24 : fissure dues a la déformation des planches.....	35
Figure 1.25 : Les attaques biotiques.....	36

Figure 2.1 : le bâti avant 1994 (gare).....	38
Figure 2.2 : après 1994 (musée)	38
Figure 2.3: aujourd'hui (inoccupé)	38
Figure 2.4 : Vue en plan de la ville Ain Témouchent	39
Figure 2.5 : Vue en plan d'occupation du sol a Ain Témouchen.....	39
Figure 2.6 : Cour pour visiteurs.....	40
Figure 2.7 : La daïra d'Ain Témouchent	40
Figure 2.8 : La nouvelle gare	40
Figure 2.9 : Chemin de faire	40
Figure 2.10 : La minoterie	40
Figure 2.11 : Cité de la gare.....	40
Figure 2.12: Rue Mohamed Boudiaf	41
Figure 2.13: Rue platanes	41
Figure 2.14 : Chemin de faire	41
Figure 2.15: Rue 1 ^{er} novembre	41
Figure 2.16 : Rue khemisti	41
Figure 2.17 : plan de La composition urbaine de l'environnement de l'ouvrage	42
Figure 2.18 : Les deux types des murs.....	57
Figure 2.19 : Le type de mortier	58
Figure 2.20 : Les ouvertures	58
Figure 2.21 : Planchés en bois	59
Figure 2.22 : Planchés mixte	59
Figure 2.23 : Cage d'escalier	60
Figure 3. 1: Pathologie sur les murs et les plafonds	63
Figure 3. 2: Pathologie sur les façades	64
Figure 3. 3: Pathologie sur la cage d'escalier	65
Figure 3. 4: Pathologie d'étanchéité.....	66

Figure 3. 5 : Pathologie de sanitaire	67
Figure 3. 6: Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur	74
Figure 3. 7: Spectre de calcul avec RPA99 version 2003.....	76
Figure (3. 8-3.13): les déformées modales	78
Figure 3. 14: Le grand effet P- Δ	83
Figure 3. 15: Le petit effet P- δ	83
Figure 4. 1: Elimination de la végétation sur un mur	92
Figure 4. 2: Renforcement un mur par injection du coulis	93
Figure 4. 3 Traitement des fissures :	94
Figure 4. 4: Traitement des arcs et linteaux	96
Figure 4. 5: Rejointoiements	96
Figure 4. 6: Drainage	97
Figure 4. 7: Ajout d'éléments métallique	98
Figure 4. 8: Utilise des enduits de renfort	99
Figure 4. 9: chemisage	99
Figure 4. 10 Réfection d'étanchéité	100
Figure 4. 11: Les sanitaires	100
Figure 4. 12: Réparation de la toiture	101
Figure 4.13 Changement des escaliers.....	101
Figure 4.14 : Travaux de menuiserie.....	102
Figure 4.15 : Faux plafond.....	103
Figure 4.16 : Revêtement de sol.....	103
Figure 4.17 : Application de peinture.....	104

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : combinaisons d'action.....	69
Tableau 3.2 : charges de la terrasse inaccessible.....	70
Tableau 3.3 : charge de la terrasse accessible.....	70
Tableau 3.4 : charge d'étage courant.....	70
Tableau 3.5 : charge de mur.....	71
Tableau 3.6 : charge des cloisons.....	71
Tableau 3.7 : la force sismique.....	73
Tableau 3.8 : la force horizontale.....	74
Tableau 3.9 : l'effort tranchant.....	74
Tableau 3.10 : Résultante des forces sismiques à la base.....	81
Tableau.4.1 : Tableau de GANNT.....	91
Tableau 4.2 : Cheminement à suivre pour traiter des fissures.....	95

**INTRODUCTION
GENERALE**

L'évolution du secteur de l'habitat en Algérie reste incontestablement marquée par l'histoire du pays. Une grande partie de ce parc immobilier est édifée durant la période coloniale, sur un modèle européen ou mélangé avec le style traditionnel local. En effet c'est suite à la colonisation française (militaire puis civile) qu'un paysage urbain inédit commence à se dessiner avec l'apparition d'éléments typologiques nouveaux (façades sur rue richement décorées, balcons, etc.) tout en conservant quelques techniques anciennes et des procédés ornementaux du répertoire traditionnel du pays. Oscillant entre continuité d'un héritage ancien et rupture de tradition avec la modernité, la production constructive en Algérie de l'époque coloniale témoigne d'un grand renouvellement artistique et de la présence d'influences croisées.

L'Algérie a hérité d'un patrimoine architectural et urbain (habitat) qui date de la période coloniale 19^{ème} et 20^{ème} siècle, cette tranche de patrimoine riche et diversifiée localisée beaucoup plus dans la plupart des centres urbains occupe une place importante dans le parc national d'immobilier et se trouve actuellement dans un état de dégradation très avancé. Vue cet état vétuste dans lequel se trouve ce cadre bâti, des interventions urgentes telles que des opérations de réhabilitation sont nécessaires afin d'améliorer en premier lieu les conditions de vie des occupants et en fin assurer sa pérennité dans le temps pour le transmettre aux générations futures. Nous estimons que la réussite d'une opération de réhabilitation ne peut se concrétiser que lorsque les occupants des espaces sont associés et consultés.

Le patrimoine de la ville d'Ain Temouchent particulièrement les vieux quartiers, connaît une situation inquiétante et alarmante, par le fait de la vétusté très avancée et le séisme qui a frappé la ville le 22/12/1999. Le nombre des bâtiments vétustes ne fait qu'augmenter, par conséquent la sécurité des biens et des personnes risque de ne plus être assurée. Une opération de recensement de tout le patrimoine menaçant ruine était effectuée autour de différentes régions de la ville.

La réhabilitation est une opération qui nécessite la gestion de situation très complexe, car lorsqu'on décide de réhabiliter il faut savoir pourquoi et pour qui réhabiliter, il est en effet apparu que la réhabilitation soulevait des enjeux très différents selon les contextes. Parfois, les enjeux sont d'ordre démographique et social : il s'agit d'offrir de bonnes conditions d'habitat à une population attachée à son bien, et dont le déplacement risquerait de fragiliser son équilibre social. Cette mobilité est alors recherchée, dans un objectif de mixité sociale et de régulation du marché du logement.

L'intérêt de ce mémoire est de présenter les étapes d'intervention sur un édifice patrimonial sur la base d'une méthodologie qui nous permettra d'établir un prédiagnostic et un diagnostic sur l'état des lieux de ce patrimoine.

Etude bibliographique et théorique:

Notre article traite l'étude de l'urbanité de la ville d'Ain Temouchent, typologie des systèmes constructifs, les risques menaçant ces constructions et enfin une étude de réhabilitation d'un ouvrage vieux bâti d'Ain Temouchent. Ce dernier point traite l'étude des désordres constatés dans cet immeuble ainsi que leurs origines et propositions des solutions de réhabilitation

Structuration du mémoire :**Synthèse bibliographique:**

. Résume une introduction, une problématique et une structuration de la présente étude.

Le chapitre1: étude bibliographique réservé pour définir :

L'histoire de l'urbanité de la ville d'Ain témouchent

Typologie des systèmes constructifs et états des lieux dans la ville d'Ain témouchent

Les pathologies des enceins bâtis

Etude théorique:

Le chapitre2 : Est consacré à l'étude et l'analyse de notre projet par un pré diagnostique et un diagnostique avec relevé pathologique et leur origine

Le chapitre3 : consacré à la vérification statique et dynamique du bâtiment

Le chapitre4 : remède et proposition de solution de réhabilitation

Conclusions.

CHAPITRE :1

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR
LES BATIS DE LA
PERIODE COLONIALE**

1.1. ville d'Ain-Témouchent :

Ain Témouchent par son caractère, sa nature, sa situation géographique, occupe une position privilégiée. Elle est en effet située au carrefour de (03) grandes wilayas que sont Oran (70km au nord est), Sidi bel abbés (70km au sud), et Tlemcen (75 km au sud ouest).

La problématique du vieux bâti de la ville après des opérations de diagnostic et expertises a été lancée par les services techniques (le CTC région Ouest) en ciblant les habitations présentant des signes de vétusté due a l'absence d'entretien.

1.1.1.Histoire de la ville d'Ain Témouchent :

Ain Témouchent, quelques temps après l'incursion de 1835, l'autorité militaire d'Oran décida l'implantation d'un poste militaire à Ain témouchent, le 23 janvier 1850, le général pelissier commandant de la province d'Oran, décide de l'établissement à « Ain Témouchent » d'un centre de 300 feux. Le capitaine maurandry qui succéda au capitaine safrané eut la charge de créer le centre de Ain-Temouchent, suite au décret signé par louis napoléon le 26 décembre 1851, sur une superficie de 1159,60 ha.

En 1869, le petit village français accède au rang de commune, et très vite avec une démographie paradoxale, la ville d'Ain-Temouchent au début du XX^{ème} siècle, devenait un « modèle » de la colonisation française en Algérie

En 1955, Ain Témouchent est une sous préfecture du département d'Oran. Après 1962, Ain témouchent devient daïra (canton) de la wilaya de d'Oran puis de la wilaya de sidi bel abbés et ce n'est qu'en 1984 qu'elle accède au statut de wilaya.



Figure 1.1 : ville Ain Témouchent [13]

1.1.2. Typologie des systèmes constructifs dans la ville d'Ain Témouchent :

La ville d'Ain Témouchent est composée des différents immeubles qui sont classés d'une façon générale selon la période de construction ainsi que leur système structural en trois catégories : [6]

1^{ère} catégorie :

Édifier de grande partie durant la première période de développement de construction en particulier à partir de 1880 ils se situent notamment sur les grandes artères, ces bâtiments sont généralement réalisés en pierres avec planchers et escalier en bois en poutrelles métallique ou en hourdis en terre cuite. C'est à partir de 1930 qu'apparaissent les premiers bâtiments d'aspect architectural moderne. Ces immeubles sont construits traditionnellement (structures en béton armé et maçonnerie en briques) ces constructions sont bien insérées dans la trame urbaine existante et constituent des ensembles homogènes regroupent parfois plus de 100 logements.



Figure 1.2 : Ain Témouchent centre ville [13]

2^{ème} catégorie :

Les premiers grand ensembles sociaux ont été réalisés à la périphérie de la ville (1948-1969). Les ensembles de part de la solidité de leur construction elles ont bien résisté au temps et sont bien intégrés au tissu urbain.



Figure 1.3 : La Grande Poste d'Ain Témouchent [13]

3^{ème} catégorie :

Les nouvelles zones d'habitat qui présentent la plus grande partie de patrimoine public existant ont été initiées depuis 1969 et dont l'objectif visait surtout l'amélioration du confort de logement notamment au plan des surfaces afin de mieux répondre au besoin induit par la taille des ménages. Sur ces statistiques il figure bien que l'âge de construction peut nous donner des idées sur les matériaux de construction utilisés et le système structural.



Figure 1.4 : place Gambetta à Ain Témouchent [13]

1.1.3. Le développement du tissu urbain de l'environnement de l'ouvrage :

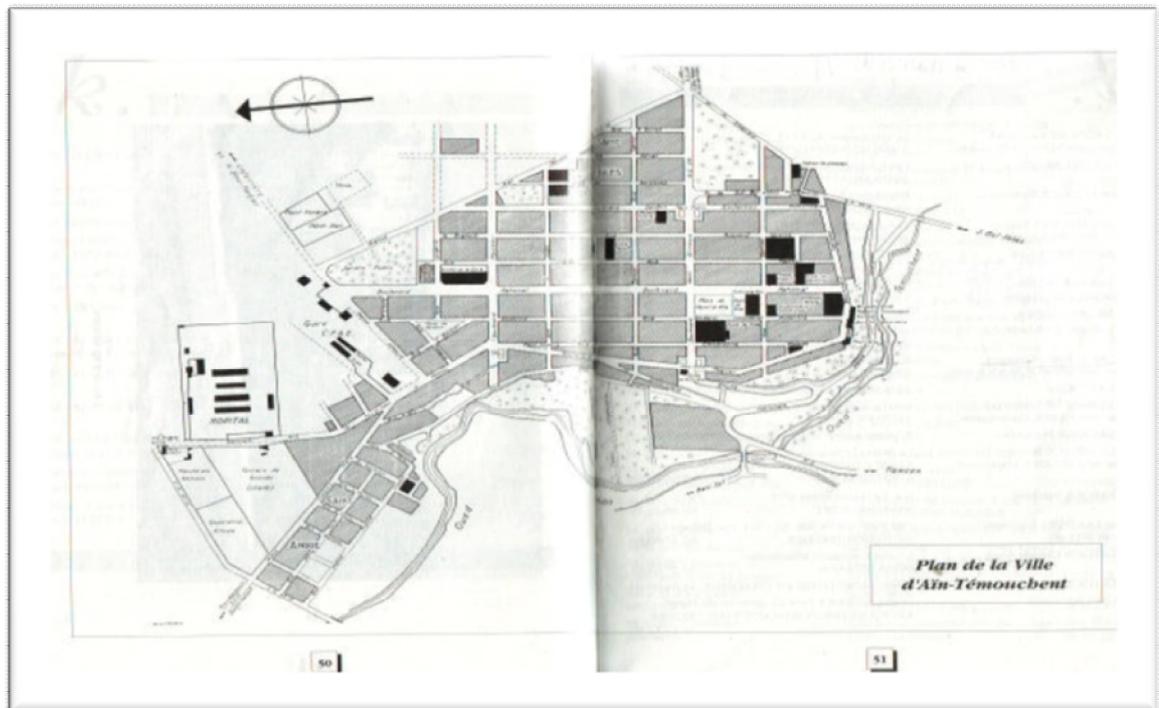


Figure 1.5 : Plans de masse avant 1962 [13]



Figure 1.6 : Plans de masse en 1962 [13]

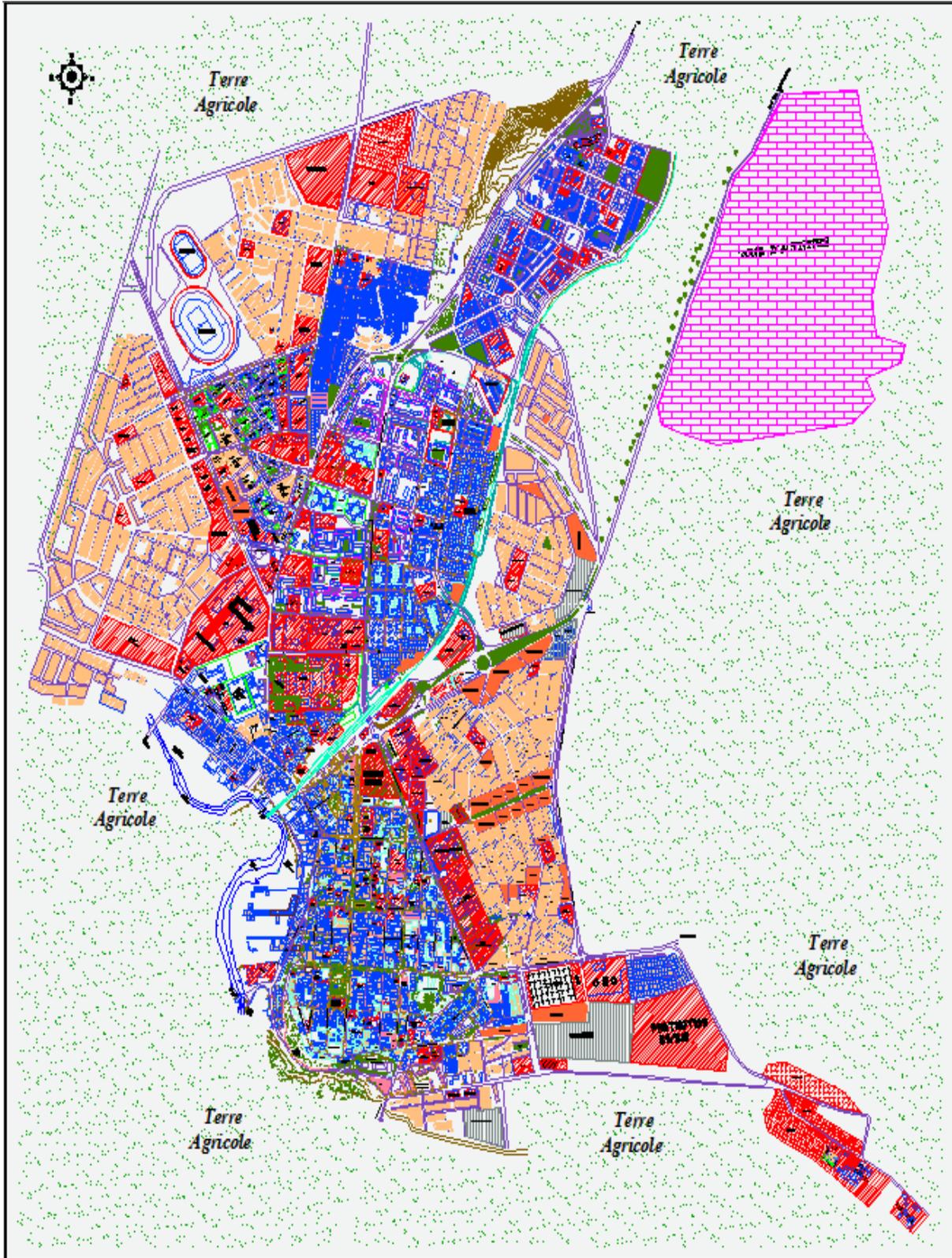


Figure 1.7: Plans de masse en 2010

1.1.4. Techniques de construction :

Afin d'intervenir sur le patrimoine de la période coloniale et établir un diagnostic correct de l'état de préservation de ce dernier, il est indispensable de disposer de connaissances étendues sur les techniques de construction utilisées, en effet le patrimoine colonial bâti a connu une multitude de périodes de construction caractérisées par des systèmes constructifs différents et diversifiés : [6]

- On retrouve des structures traditionnelles avec des murs porteurs en maçonnerie et des planchers en bois (figure 1.8)

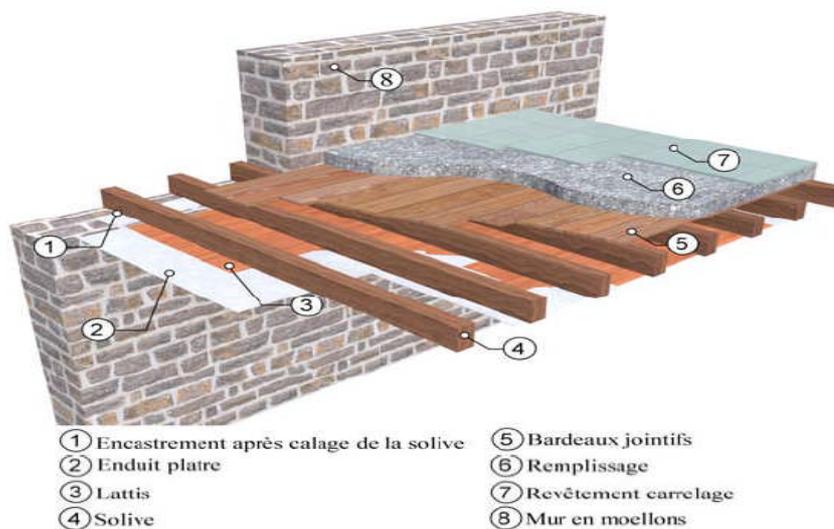


Figure 1.8 : Plancher à ossature en bois. [6]

- Plancher à voutain avec solives en profilé métallique (figure 1.9)



Figure 1.9 : Plancher à voutain avec brique creuse et faux plafond. [6]

- durant l'année 1955 la naissance des Structures en béton armé avec des fondations en béton armé et des planchers monolithes sous forme de dalle pleine ou plancher préfabriqué avec hourdis et poutrelles préfabriquées en béton armé.

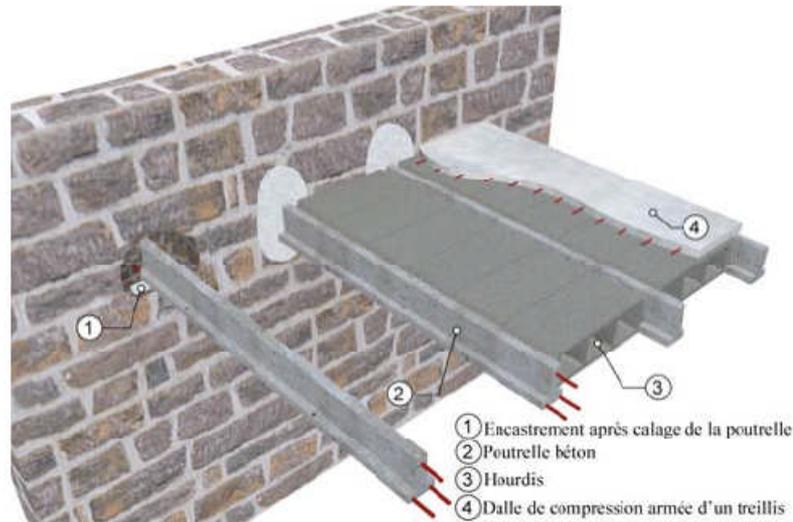


Figure 1.10: Plancher à poutrelle en béton armé encastree dans le mur. [6]

- aussi on retrouve des structures métalliques ou bien mixte acier-béton. Ces structures sont différentes des précédentes, vu leur mode d'assemblage qui s'effectue dans la grande partie en atelier avec des techniques de d'assemblage tels que les boulonnages, les rivetages et les soudages.

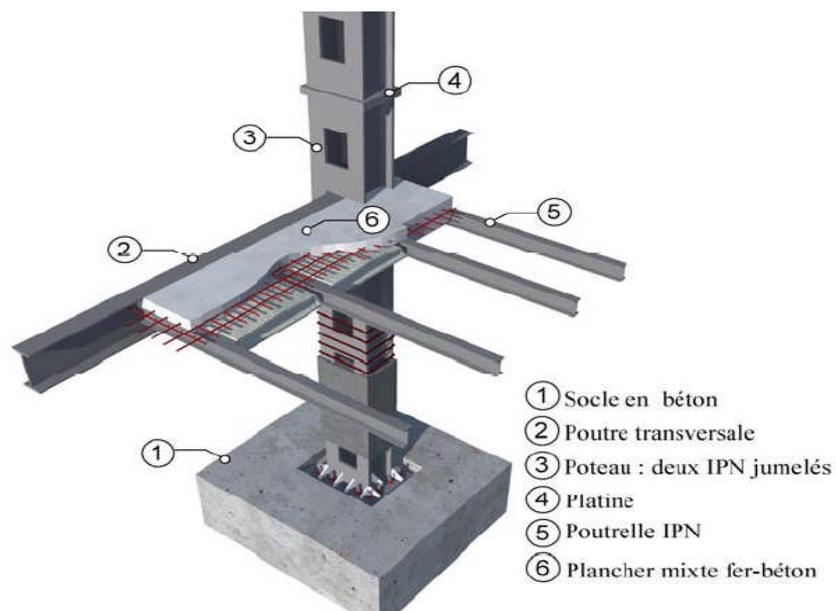


Figure 1.11 : Système d'assemblage en structure métallique [6]

1.1.5. Etat des lieux du Patrimoine de la ville d' Ain témouchent :

Le patrimoine de la période coloniale présente des signes inquiétant de vieillissement qui nécessite une intervention urgente. L'ensemble des immeubles de cette période se trouve dans un état alarmant de dégradation tel que le montre les différentes photos ; on remarque:

- ✓ Prolifération de végétation par manque d'entretien engendrant la fragilisation des murs par des fissures.
- ✓ Partie commune (escalier) dans un état de dégradation avancé ;
- ✓ Décollement des revêtements suite à la corrosion des aciers ;
- ✓ Fuites aux joints et aux assemblages : cela résulte du vieillissement des matériaux et à leur dégradation, à des désassemblages dus à des chocs, des descellements de support ou des mouvements du bâtiment ou des canalisations ;
- ✓ Façades en état délabrés nécessitant un ravalement ;
Humidité permanente et suintements de condensation entraînant une corrosion externe et décollement des enduits
- ✓ Les désordres observés sur les balcons en béton correspondent à des fissures, des épaufrures et des zones d'éclatement accompagnées de la mise à nu des fers
- ✓ Toitures qui doivent garantir l'étanchéité à l'eau est complètement défectueux
- ✓ La stagnation des eaux potables ou usées dans les caves, où les pompes à eaux perdent de l'eau ;



Figure 1.12 : pathologie des enceins bâtis.

1.1.6. Identification des agents responsable des pathologies :

a) Agents extrinsèques

- Séisme

Le Mercredi 22 décembre 1999, à 18h 37 mn, un séisme d'une amplitude de 5.5 sur l'échelle de Richter a frappé la ville de Ain Temouchent et les villages environnant de Sidi Ben Adda, Ain Tolba et Ain Lâalem faisant 28 morts et 150 blessés dont 50 dans un état grave.

Tout le reste de la Wilaya à aussi été touché mais sans dégâts importants et sans perte en vie humaine. Ce séisme à été ressenti dans tout l'Ouest algérien (Oran, Tlemcen, Mascara...) jusqu'au Maroc (Oujda).

L'épicentre de ce tremblement de terre a été localisé au niveau des monts de Tessala qui est situé à 20 km à l'Est de Ain Témouchent, a laissé des Degas sur le vieux bâti de la ville.

Au niveau de la ville, c'est dans la partie sud: le vieux Témouchent, où se concentre le vieux bâti, que les dégâts ont été les plus importants.

On dénombre 2000 habitations touchées dont 39% durement touchées et 15% à démolir.

En ce qui concerne le secteur public, on a recensé 17 administrations publiques plus ou moins touchées dont le tribunal, l'O.P.G.I, le siège de la Wilaya, la B.E.A, etc...

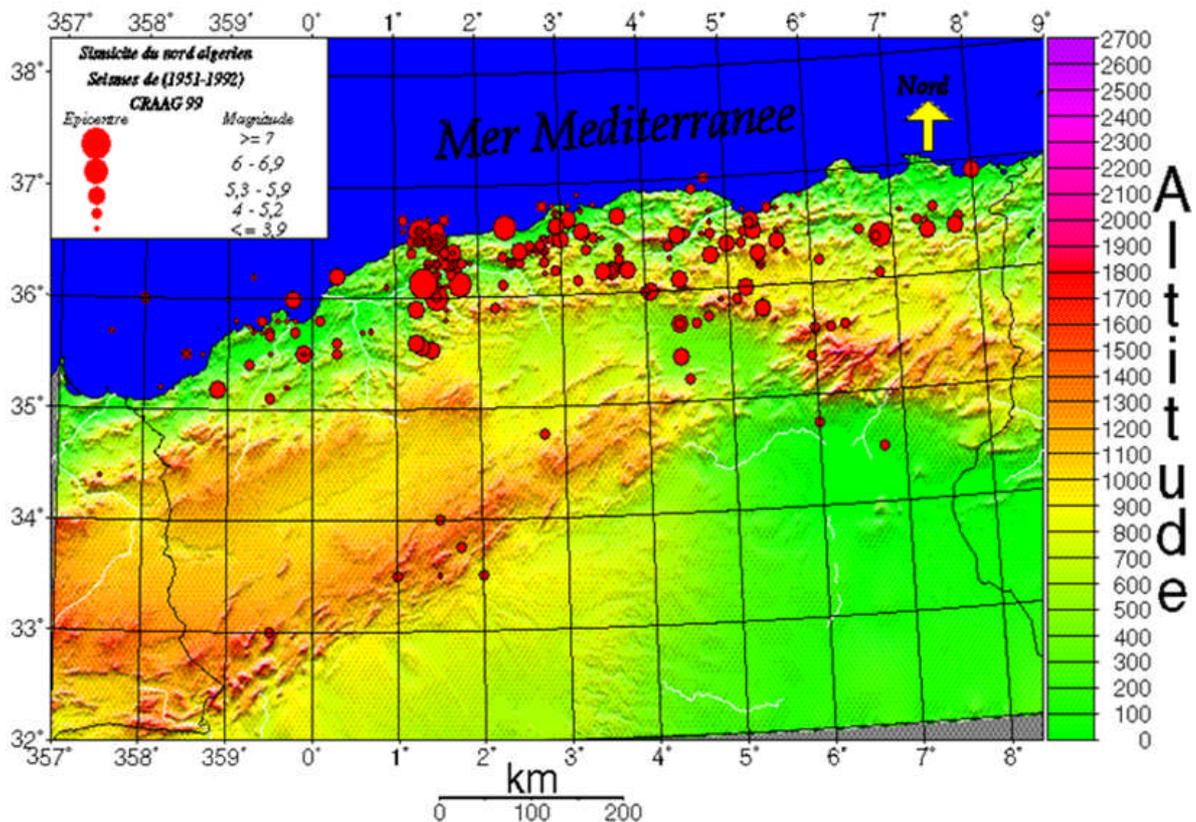


Figure 1.13 : carte de sismicité du nord algérien

- **Le climat**

La Wilaya d'Ain Témouchent a un climat méditerranéen, caractérisé par un été chaud et un hiver tempéré. Le régime climatique se caractérise par des vents qui n'apportent généralement que peu d'humidité (vents de direction Nord - Ouest, Sud - Est),

- b) Agents intrinsèques :**

- **Actions mécaniques :**

Des sollicitations non prises en compte dans les hypothèses de calcul (Surcharges exagérées, tassement de fondations, poussées et tractions au niveau d'éléments structurels, des moments de flexion exercés dans les murs par la rotation des planchers aux appuis, des longueurs de flambement des poteaux portant des planchers superposés).

- **Actions hygrothermiques :**

L'eau, sous ses trois aspects : vapeur, liquide et glace, a une très grande influence en pathologie.

Les ouvrages sont soumis à des variations de température qui se traduisent par des dilatations et des rétractions (les matériaux augmentent de volume avec l'augmentation de leur teneur en eau et leur température et diminuent de volume dans le cas contraire). Lorsque ces mouvements sont gênés ou empêchés par des éléments de structure raides, ou lorsque les joints de dilatation sont trop espacés, les raccourcissements s'effectuent au prix de fissures.

Le béton est sensible à l'eau pure et aux eaux acides : Infiltration des eaux dans le béton, dissoudre les composés instables, et rendre le matériau poreux

- **Actions chimiques et biologiques :**

L'humidité accompagnée de la chaleur favorise le développement d'organismes végétal, animal ou microbien (bactéries, algues et lichens, arbres et plantes, micro-organismes, excréments d'animaux...).

Ce phénomène entraîne pour certains matériaux des dégradations.

Le bois subit un pourrissement et les calcaires peuvent se désagréger en milieux nitrurés.

*les champignons de moisissures, de bleuissement et les lignivores, dont l'impact sur le bois est essentiellement esthétique pour 1 et 2 et dégradent les constituants de paroi cellulaire du bois pour le 3.

*les insectes à larves xylophages, tels que les capricornes, et les termites qui, comme les

1.2. Quelques désordres structurels pouvant les rencontrer dans les bâtiments anciens: [4]

❖ Pathologie due à une trop forte compression sur une large partie du mur .

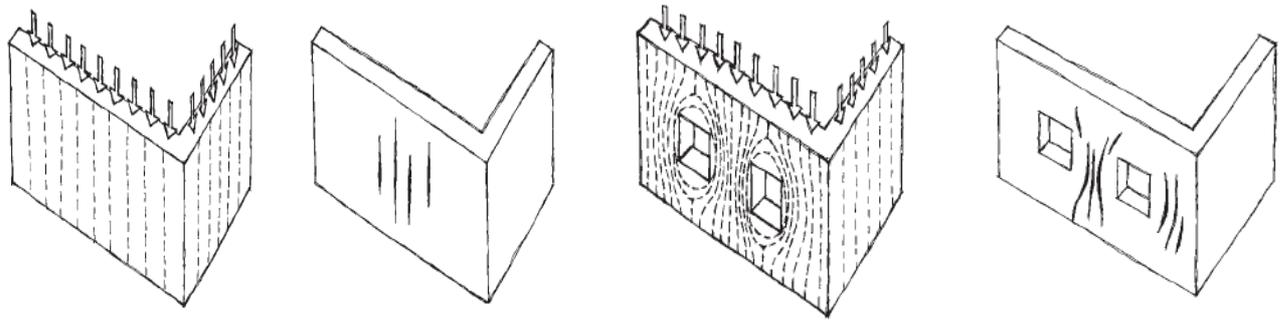


Figure 1.14 : Fissure sur les murs des maisons

- ❖ Désordres dues à des charges ponctuelles.

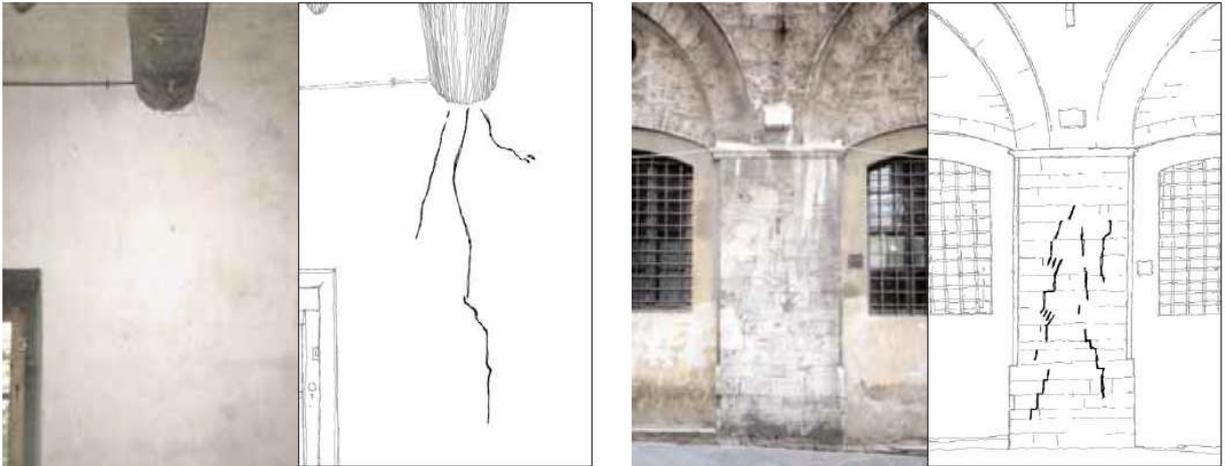


Figure 1.15 : Fissure dues à des charges ponctuelles

- ❖ Pathologie due à des manques de rigidité des éléments collaborant.

les fissures dues, à un linteau déformable en bois provoquant la décompression d'une partie du mur et la formation de fissures suivant un arc de décharge, puis l'effet de la charge ponctuelle de la poutrelle, en fonction de la taille des baies et de la ductilité des matériaux du mur.

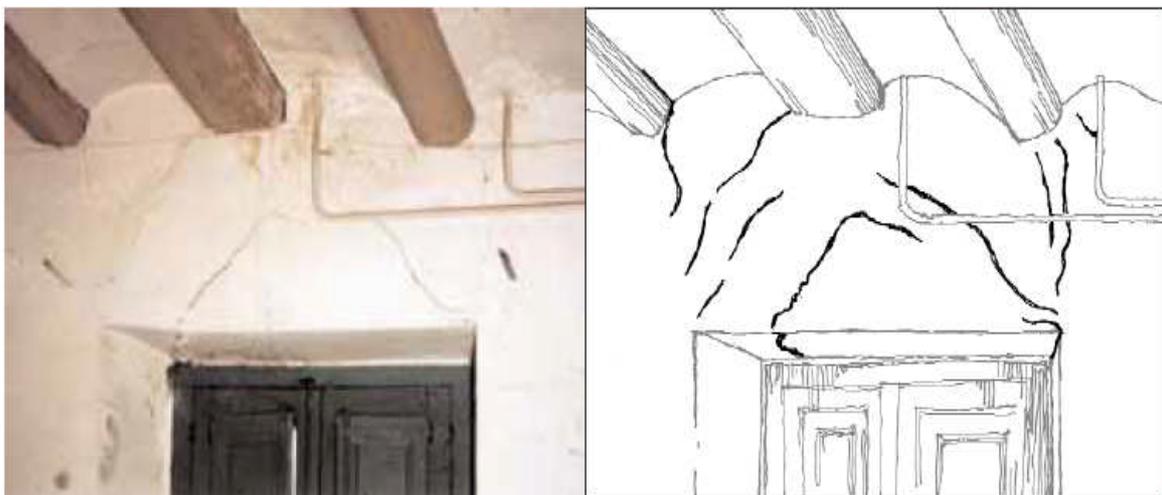


Figure 1.16 : Fissure dues à des manques de rigidité

- ❖ Pathologie due à des différences de charges entre les murs transversaux.

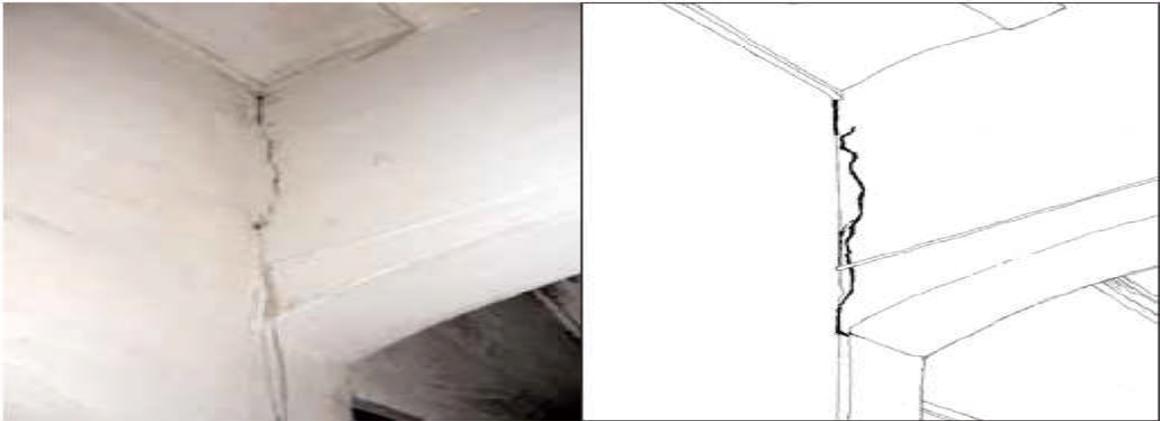
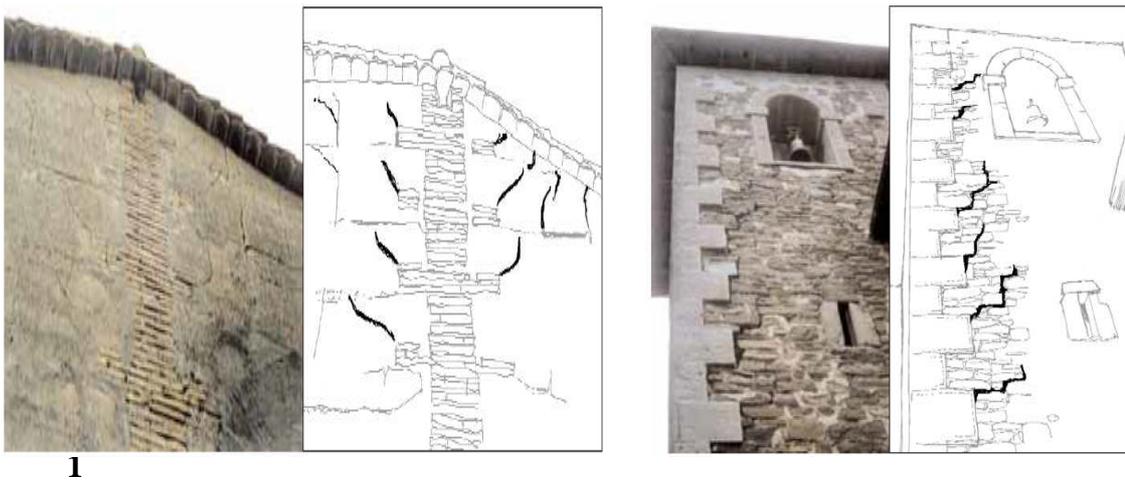


Figure 1.17 : Fissure dues à des différences de charges

- ❖ Pathologie due à des différences de rigidité entre les matériaux composant les murs mixtes.



1

Figure 1.18 : Fissure des murs mixtes

- ❖ Pathologie due aux mouvements différentiels des fondations.

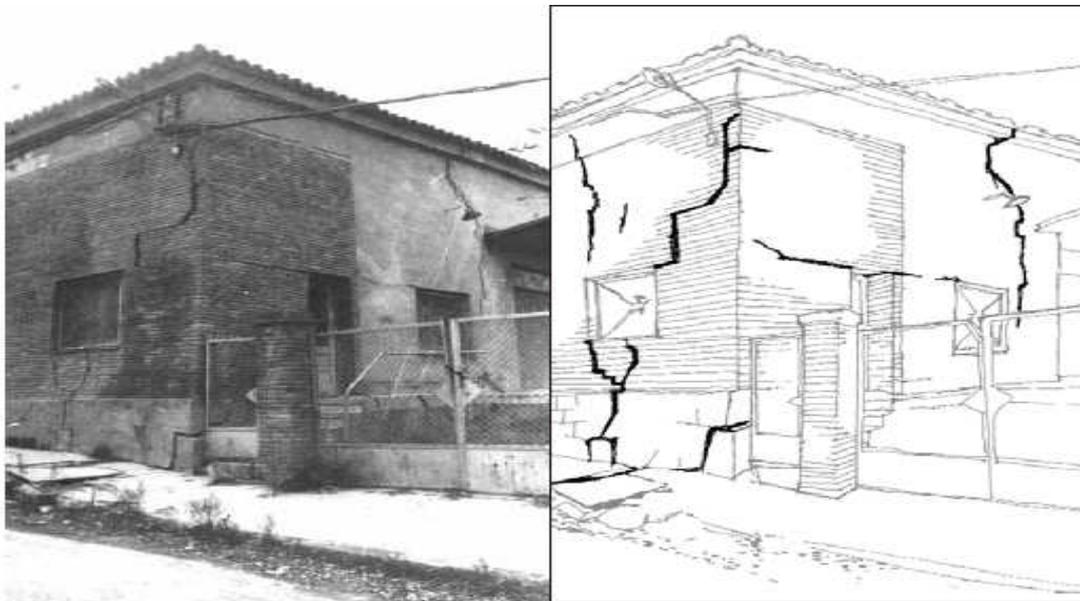


Figure 1.19 : Fissure dues au tassement différentiel

- ❖ Pathologie due aux mouvements sismiques.

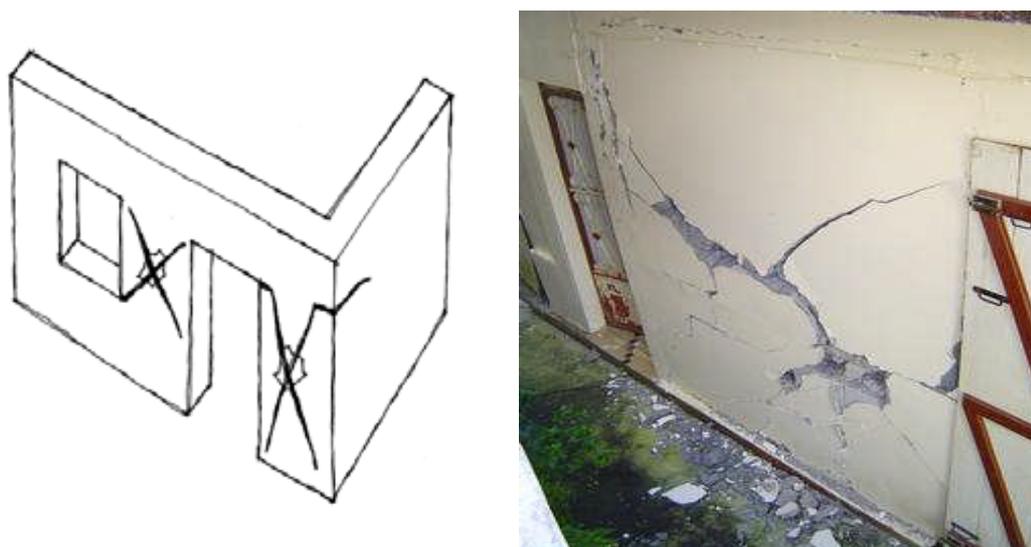


Figure 1.20: Fissure dues au Séisme

- ❖ Fractures verticales au niveau des sections internes des murs.

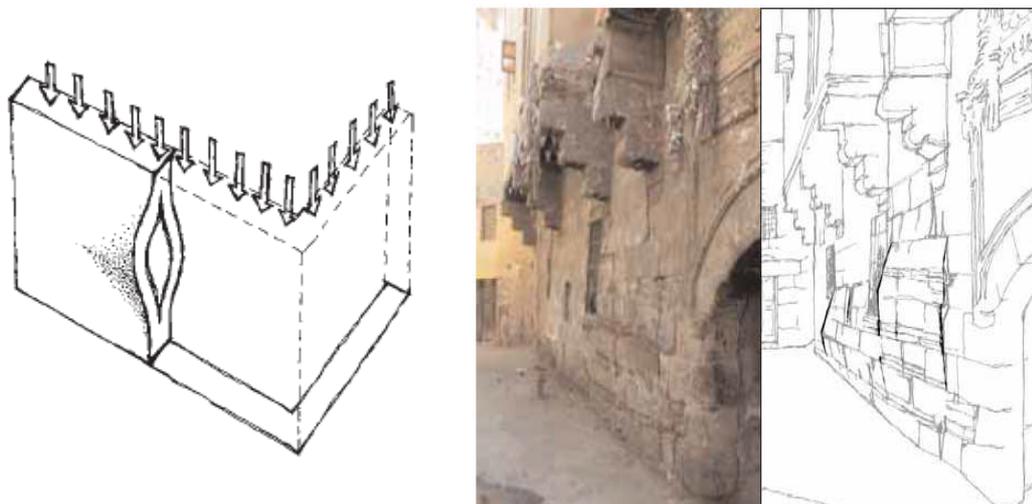


Figure 1.21: Fissure dues au Fractures verticales

- ❖ Écrasements et bombements des façades.



Figure 1.22 : Fissure dues au s'écrasements et bombements des façades

❖ Pathologie des planchers faits de poutres et de poutrelles.

Les déformations de la dalle qui fléchit au plafond prennent appui sur la cloison sous-jacente et risque de l'écraser, soit par cisaillement des briquettes, soit par flambement d'ensemble.

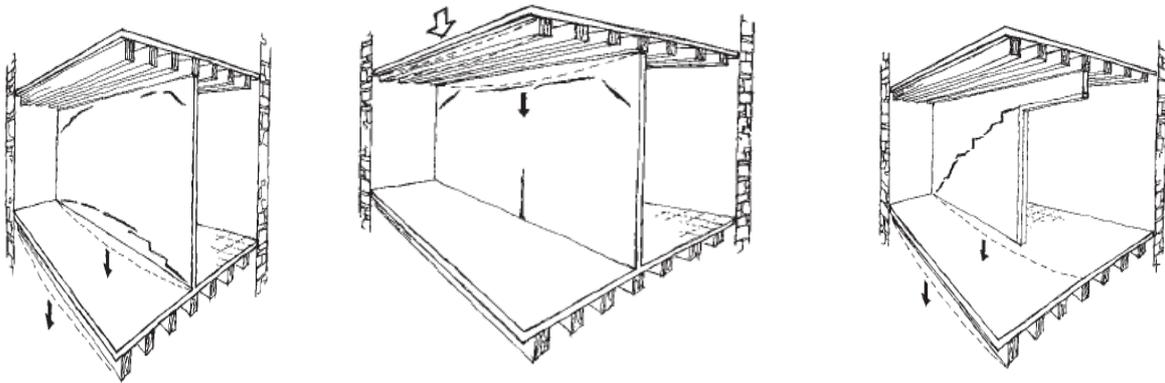


Figure 1.23: Fissure dues a la déformation des planches

❖ La présence de fissures.

La présence de fissures, causés en rapport avec le processus de séchage du bois ou aux cycles d'humidité ambiante.



Figure 1.24 : Fissure dues a la déformation des planches

❖ Les attaques biotiques.

La putréfaction du bois due à la présence de champignons ou d'insectes xylophages tels que les termites ou les vrillettes entraîne une diminution de la surface utilisable.

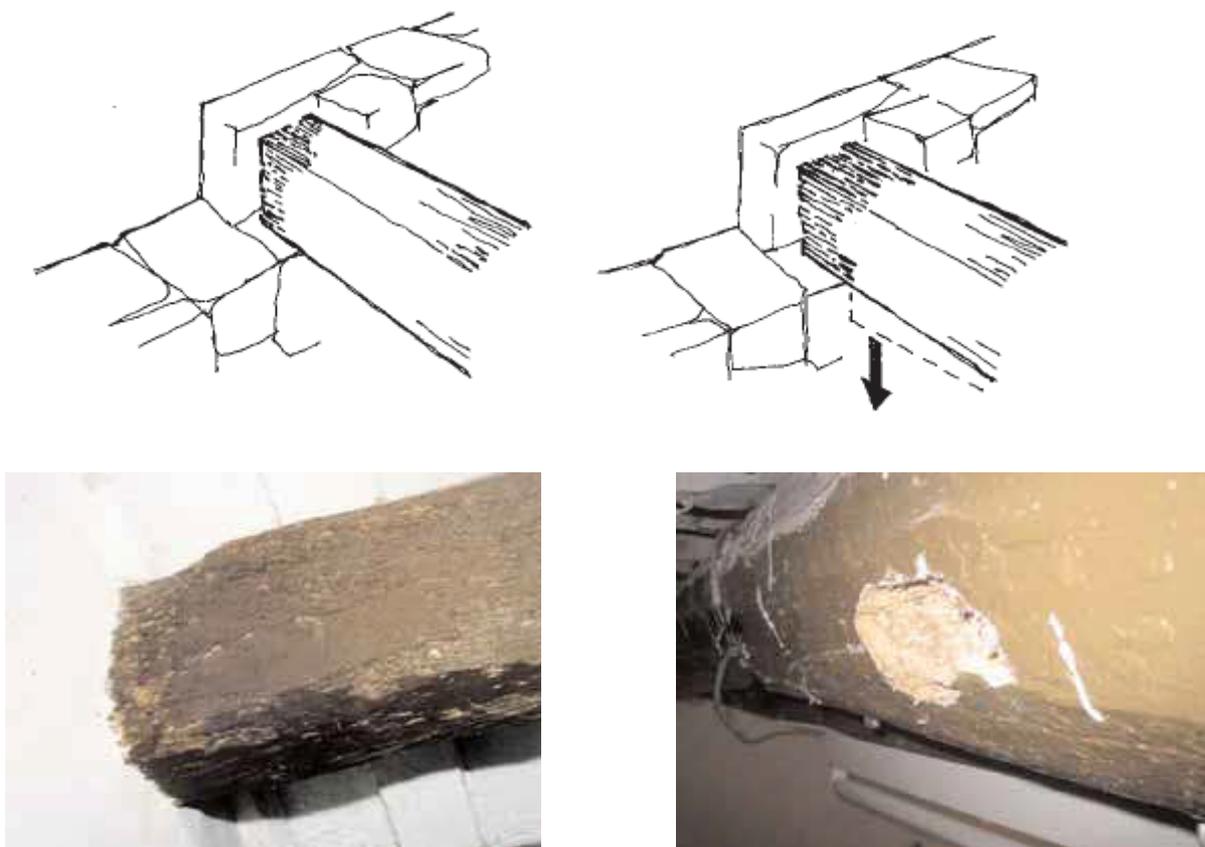


Figure 1.25 : Les attaques biotiques.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

2.1. Identification de l'immeuble :

L'étude initiée dans ce mémoire est basée sur l'approche en termes de capacité de résistance et de déformabilité de la structure. Elle comporte plusieurs phases d'analyse à la suite de laquelle des décisions doivent être prises pour la sécurité de l'ouvrage.

L'analyse exige, comme préliminaire, la connaissance et la collection de plusieurs données liées au bâtiment et à son environnement, telles que les critères de sécurité désirés, les plans d'architecture et de génie civil, le type, la fonction et la nature des matériaux constitutifs de la structure.

2.1.1. Historique de l'ouvrage :

Datant de la période coloniale vers le début des années quarante (1940), dessinés par des architectes d'État, édifiés avec l'autorisation de l'administration française, avec les techniques de construction de l'époque. L'ouvrage a été conçu à l'origine comme gare ferroviaire. Vers l'année 1994, cet ouvrage a subi une réhabilitation et des transformations pour être reconverti en musée et depuis le séisme survenu le 22/12/1999 le bâtiment est resté inoccupé à ce jour. [CTC]



Figure 2.1 : le bâti avant 1994 (gare) [13]



Figure 2.2 : après 1994 (musée) [13]



Figure 2.3 : aujourd'hui (inoccupé)

2.1.2. Définition urbain

a) Situation :

L'ouvrage objet de cette thèse se situe au centre ville de la commune d'Ain Témouchent à proximité de la gare routière et ferroviaire Daïra d'Ain Témouchent Wilaya d'Ain Témouchent.



Figure 2.4 : Vue en plan de la ville Ain Témouchent

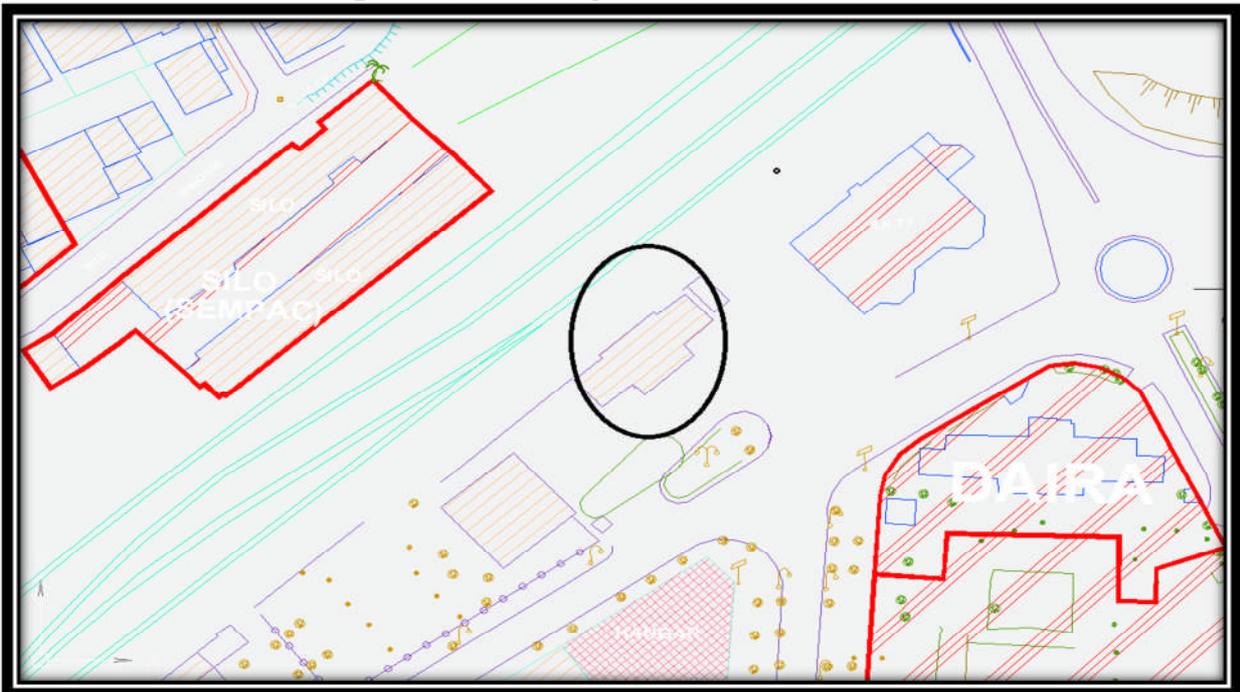


Figure 2.5 : Vue en plan d'occupation du sol a Ain Témouchent

b) La composition urbaine de l'environnement de l'ouvrage :

Puisse que le bâtis a été une gare son terrain est de forme longitudinale, constitue une bande désert coupant la ville en deux parties, l'une au sud le vieux Témouchent, où se concentre le vieux bâti, l'autre au nord la nouvelle ville.

**Figure 2.6 :** Cour pour visiteurs**Figure 2.7 :** La daïra d'Ain Témouchent**Figure 2.8:** La nouvelle gare**Figure 2.9 :** Chemin de faire**Figure 2.10 :** La minoterie**Figure 2.11:** Cité de la gare

c) Nœuds et flux :

Le site du bâti est bordé par cinq axes : les trois premiers sont des axes principaux dont le flux mécanique et piéton est important, le premier est constitué de deux routes (boulevard Mohamed Boudiaf, rue platane).

Le deuxième est le boulevard 1 Novembre, le troisième c'est la rue Khemisti.

Les deux autres sont des flux soit mécanique soit piéton dont le premier est la voie ferroviaire et l'autre et une voie piétonnes (une passerelle) qui mènent vers le nord de la ville.

**Figure 2.12 :** Rue Mohamed Boudiaf**Figure 2.13 :** Rue platanes**Figure 2.14 :** Chemin de faire**Figure 2.15 :** Rue 1er novembre**Figure 2.16 :** Rue khemisti

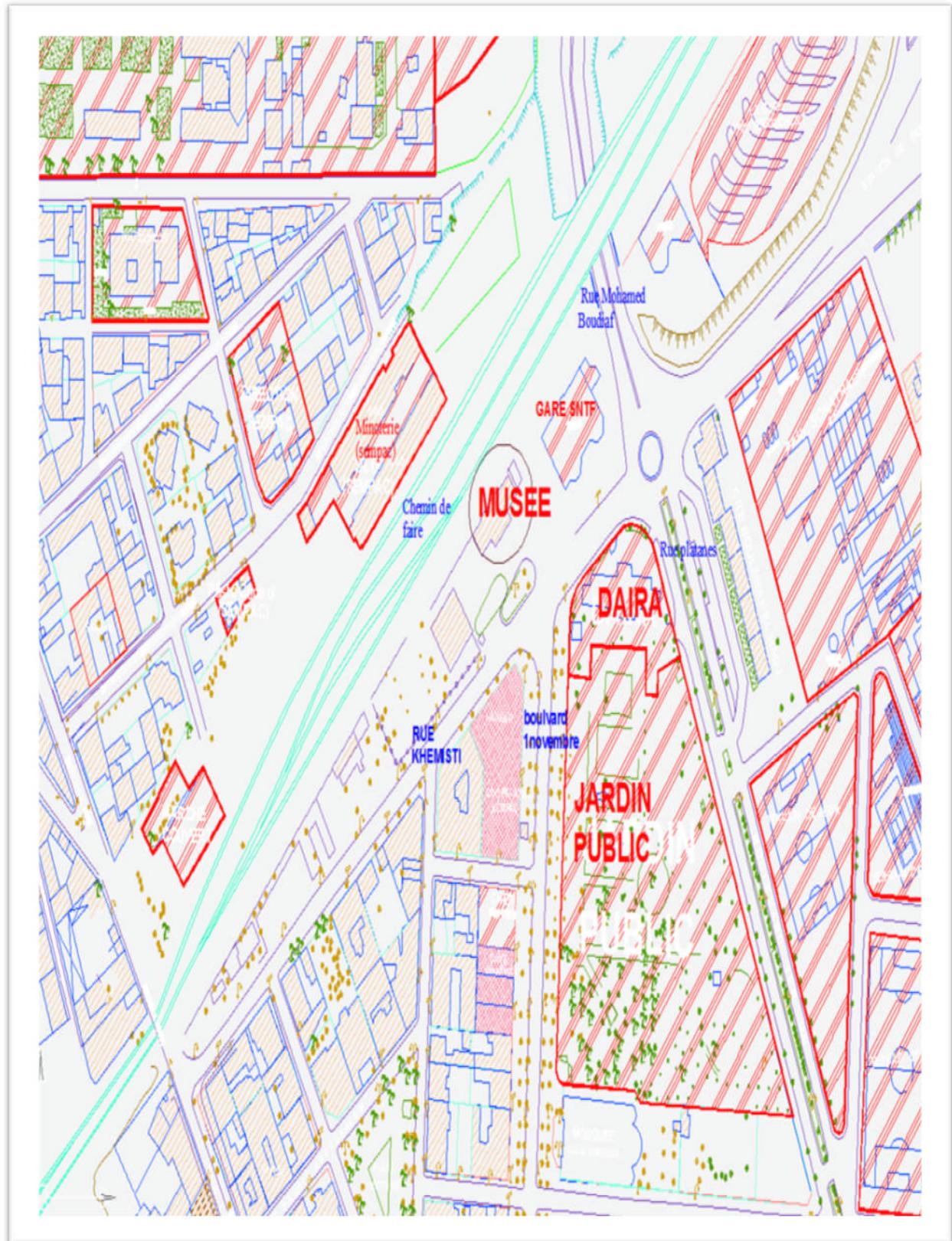


Figure 2.17 : plan de La composition urbaine de l'environnement de l'ouvrage.

2.2. Présentation de la structure existante :

2.2.1. Description de l'ouvrage :

L'immeuble objet de cette étude est composé d'un seul bâtiment en R+1, d'une surface moyenne de deux cents cinquante (250m²) mètres carrés et dotée d'un sous-sol partiel d'une surface moyenne de trente (30 m²) mètres carrés. Elle abrite au rez-de-chaussée une grande salle d'exposition, deux petites salles aussi pour exposition, trois bureaux, les sanitaires et le hall de circulation. Au 1er étage, une grande salle d'exposition, deux bureaux, le couloir de circulation et deux terrasses accessible, la première située côté EST et la deuxième située côté OUEST. La partie constituant le sous-sol se compose de deux pièces communicantes.

2.2.2. Description architectural :

Il s'agit d'une architecture classicisante (**Style néo-classique**), d'appartenance européenne, qui trouve origine en 1750 dans les références gréco-romaines pour devenir l'architecture officielle de l'empire français pendant 70 ans.

Notre constructions est de formes parallélépipédiques de deux niveaux (R+1), avec des ouvertures larges et régulières (symétrie et rythmicité des ouvertures, ouvertures en hauteur) sur toutes les façades, il s'agit de grandes fenêtres et ports en ARC surbaissé façonnier en bois, qui font le tour de deux façades.

Deux terrasses accessible au premier niveau avec des acrotères sur leur périmètre et pour la terrasse du deuxième niveau est inaccessible avec des acrotères décoré et une horloge planté au dessus

-la corniche est tout en tour des quatre façades, un port a faux en métal est sellait au premier niveau de la façade principale

-Le rez- de- chaussée (RDC), borde une esplanade (cour des visiteurs) participent à l'animation de la façade

A l'intérieur en trouve deux grande et trois petites sale de l'exposition et cinq petits bureaux administratifs, un sanitaire et une cage d'escalier.

Donnée géométrique de l'ouvrage :

Notre bâtiment est de la forme rectangulaire en vue plan dans les dimensions suivent :

Longueur total**L = 32m**

Largeur total**B = 10,8 m**

Hauteur totale**Ht = 17m**

Hauteur de l'acrotère**Ha = 0.6 m**

Hauteur d'étage**Hé = 3,6m**

Hauteur du RDC **H_{RDC} = 3,6m**

Portées dans le sens longitudinal d'une travée :**5,40m**

Portées dans le sens transversal d'une travée :**5,25m**

Surface utiles

désignation	espace	activitees	surface (m ²)	observations	photos
Esplanade	Cour des visiteurs	stationnements	2500		
sous-sol	cave	administrative	30	Planchée à voutain	
Salles de l'exposition	rectangulaire	exposition	120		
Bureaux administratif	rectangulaire	administrative	15		
hall	rectangulaire	circulation	8.6	Accès a la terrasse	
sanitaire	publique		22		
Cage d'escalier	cubique	circulation	12	Accès au 1 ^{er} étage	
Terrasses	carré		160	Terrasse inaccessible	

Ouverture et décors

designation	formes	geometrie (m)	observations	photos
Port à faux	Charpente métallique	(14,8 x 2,5)	Encre au mur	
Ports 1	Arc Sur baissé	(1,5 x 3)	En bois	
ouverture	Arc Sur baissé	(1,1 x 2,1) (2,1 x 2,5)		
Fenêtres 1	Arc Sur baissé	(1,5 x 2,5)	En bois	
Décore sur la façade				

2.2.3. Description structurelle et des matériaux de construction de l'ouvrage :

a) Fondations :

les soubassements utilisés sont traditionnels, formés avec des semelles continues en maçonnerie, rigides qui assurent l'équilibre même de l'ouvrage, peu profonds avec une épaisseur de 80 à 120 cm, et de même largeur ou sensiblement supérieurs à ceux du mur.

b) Murs :

La majorité des murs de ce bâti sont des murs épais d'une épaisseur de 55cm qui peuvent travailler seulement en compression, construits avec des moellons (pierres sèches sorties brutes de la carrière, ou juste un peu arrangées) posés sur un lit de mortier, bien serrés, de façon à ce que le mortier reflue en surface.

Les chaînages verticaux servent à nouer les murs qui se rencontrent, ou à nouer deux parements d'un mur qui court sur une grande longueur. Les pierres d'angle qui forment le chaînage sont harpées, de manière à enchâsser les petits rangs de moellons dans les dents formées par les grandes pierres de taille (boutisses), qui solidifient le mur dans son épaisseur, en formant des accroches entre les deux parements.

D'autres murs ont été utilisés récemment dans cet ouvrage, l'ors qu'il a subi des transformations en musée on trouve des cloisons construites en briques creuses qui ne jouent pas le rôle de porteur.

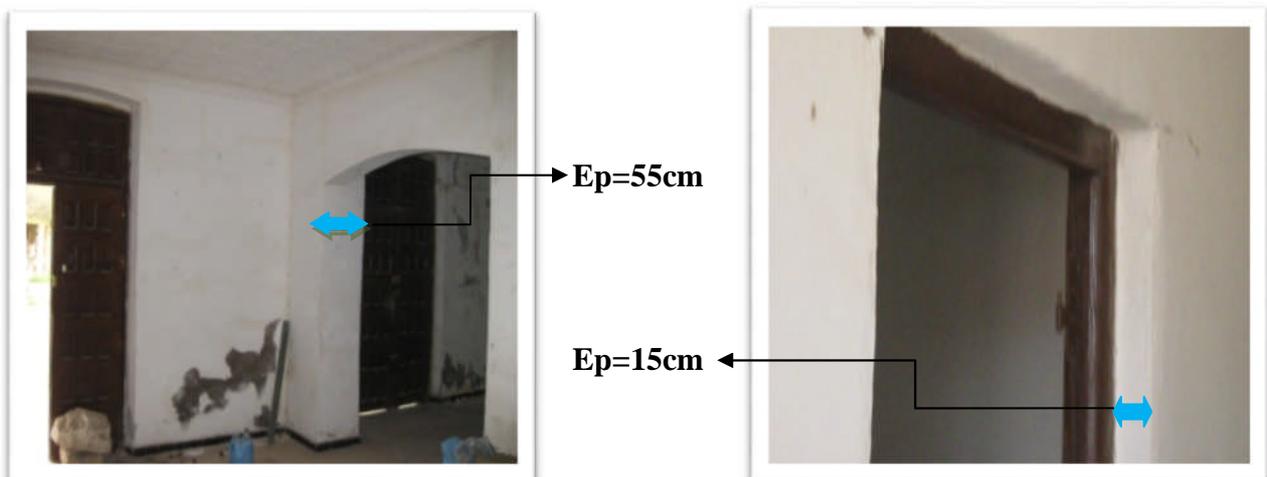


Figure 2.18 : Les deux types des murs

c) Mortier :

C'est un mélange liant + sable + eau, qui sert à monter les murs de maçonnerie. En théorie, le mortier n'est pas là pour caler les pierres: il supprime les courants d'air, augmente les forces de frottement entre les pierres, et empêche les forces imposées au mur de « pousser au vide. » Certains murs en galets ont un comportement mécanique plus proche du pisé. Dans notre bâti on trouve mortier en ciment utilisé pour les murs porteurs du bâtiment, et les nouvelles cloisons.



Figure 2.19 : Le type de mortier

d) Ouvertures :

Elles sont réalisées avec des linteaux de forme ARC surbaissée elliptique, travaillent uniquement en compression qui doivent transmettre leur charge à la terre par le biais de la maçonnerie.



Figure 2.20 : Les ouvertures

e) Les enduits :

Deux types d'enduits sont utilisés, le premier est constitué en (ciment + sable + eau), utilisé pour la finition des façades et l'intérieur des murs, le deuxième enduit de plâtre pour la finition des arcs des ouvertures.

f) Plancher :

Le plancher joue un rôle structurel très important car l'ensemble de ses fonctionnements à une influence décisive sur la stabilité de la structure. Il agit comme un diaphragme horizontal qui assure la transmission et la répartition des charges horizontales entre les éléments participant au contreventement et, par-delà, aux fondations.

Dans notre bâtiment on trouve trois types de plancher :

- 1) Plancher en bois constitué de solives encastré au mur après calage pausée sur des poutres en profilé métallique et bardeaux jointifs en bois pausée sur les solives plus remplissage au-dessus des bardeaux.
- 2) Plancher mixte poutres et poutrelles en IPE plus une dalle en béton faiblement armé entre ces poutrelles.
- 3) Plancher mixte comme 2 renforcé par gainage (grille métallique + béton) par injection sur toute la partie inférieure de la surface du plancher



Figure 2 .21 : Plancher en bois (1)



(2)



(3)

Figure 2 .22 : Plancher mixte

g) Cage Escalier :

Les escaliers reposent sur deux murs porteurs sur les côtés latéraux de la cage

Le choix des escaliers dans cette époque a été tombé sur les escaliers en bois avec de garde-corps en acier



Figure 2.23 : Cage escalier

CHAPITRE 3

DIAGNOSTIC ET ANALYSE

3.1. Etude de diagnostic des cas pathologiques :

3.1.1. Investigations in situ :

Dans cette partie, nous nous intéresserons sur L'état général et aux principales pathologies apparaissant dans La structure. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables. Elles sont décrites dans la suite.

3.1.2. Relevé pathologique :

Les principaux dommages et dégradations relevés lors des visites d'inspection se présentent comme suit :

a) Murs et plafonds :

- Fissure structurelles traversantes (passives) occasionnées par le fait du séisme sur la structure sur les murs et les planchées leur épaisseur se varie entre (1 et 3)mm et de longueur variante.

- fissuration perpendiculaire et éclatement d'enrobage sur les deux poteaux

- Apparition de fissures par endroits du mortier de crépissage

- Epaufures de longueur variant sur les murs et les planchées,

- Décollement partiel de l'enduit de ciment qui protège le béton des planchées et la maçonnerie des murs,

Fissuration sur et au-dessus des arcs et les linteaux

- Dégradation du revêtement de carrelage

- Oxydation très avancée des profilés métalliques en IPE de la dalle.

- Corrosion avancée des éléments métalliques entraînant des dégradations importantes des éléments en béton armé.

- Vieillesse des joints de mortier des murs

- Enduit et peinture défectueux par l'effet de l'humidité et infiltration deseaux pluviales à travers les terrasses, murs en maçonnerie

- remontées capillaires sur les murs

- Mise à nu des armatures du planchées, qui, selon les cas, apparaissent très corrodées

- Grand partie des faux plafonds de plâtre est tombé.

Sanitaire complètement défectueux.

- Éclatement d'enduit de mortier sur certains endroits : au niveau des plancher, mur , les arcs.

Appareilles d'électricités détériorée et câble sortie de leur gaine.

- Oxydation très avancée des profilés métalliques en IPE des porta faut avec l'apparition de la corrosion



Figure 3.1 : Pathologie sur les murs et les plafonds

b) Façades :

- faïençage présente sur les murs des façades
- Ecaillage de la peinture et présence de taches humide.
- Décollement d'enduit sur certains endroits de la façade
- Apparition de fissures sur les corniches, bandeaux, acrotères et tous les éléments décoratifs des façades.
- Végétations un peu partout sur les façades.

**Figure 3.2 : Pathologie sur les façades**

c) Cage d'escaliers :

- Fissuration du mur porteur
 - Endommagement de la rampe et des marches
 - pourrissement
 - Conséquences dommageables des variations de teneur en eau
- Fissures en intérieur:
Interaction cisaillement / fissures de séchage
Pièces de Toiture en zinc partiellement en levé



d) Etanchéité:

L'étanchéité de la terrasse est défectueuse avec une dégradation avancée laissant apparaître le support par endroit.

- Infiltration des eaux pluviales
- fissuration épaisse facilitant l'infiltration des eaux de pluie.
- dégradation par vieillissement du liant de liaison.
- végétation sur la terrasse

Obstruction des gargouilles et des siphons des terrasses, dégradation des avaloirs sur les terrasses.

Dégradation de l'étanchéité des terrasses et dégradation totale des matériaux constitutifs des joints.



e) Sanitaire :



Figure 3.5 : Pathologie de sanitaire

3.1.3. Les causes des désordres :

Les résultats de différentes consultations nous ont permis de dégager les causes des dégradations résumées ci-après.

On constate que les pathologies de ce bâtiment sont liées au bâtiment lui-même par le fait de la vétusté et les dommages laissés par le séisme.

L'humidité est l'une des principales causes de pathologie qui affecte le bâtiment ; elle est le signe de la mauvaise santé et c'est un souci à assumer dès le départ. Elle peut menacer la bonne conservation des structures et les matériaux du bâti.

Les infiltrations d'eau de pluie :

Les infiltrations des eaux ont deux causes principales, l'absence d'entretien et de maintenance, conduisant à la dégradation des descentes d'eaux pluviales, des avaloirs et l'obstruction des gargouilles et des siphons..., la défektivité de l'étanchéité des terrasses et les murs des bâtiments qui sont presque pas étanches ; les matériaux poreux ainsi que les fissures laissent pénétrer l'eau de pluie. Les principales causes d'infiltration d'eau de pluie sont :

- Les fissures :

L'origine des fissures remarquées dans ce bâtiment sont sismiques.

- Les points de jointure entre les différents matériaux :

Les ossatures en maçonnerie sont particulièrement sensibles aux infiltrations d'eau. Les points de construction particuliers de structure (poteau, linteaux, appuis) sont fréquemment sources de fissures.

- Les joints de mortier :

Les joints de maçonnerie en pierre se dégradent avec le temps, elle perd de rigidité

- Le vieillissement des enduits :

Les enduits se détériorent au fil des ans, des fissures causées par des phénomènes de retrait et de faïençage apparaissent.

- Les défauts de menuiserie :

Un mur contre terre subit des infiltrations latérales qui sont apparemment très proches des remontées capillaires. Il faut néanmoins les connaître car leur remède diffèrent. On reconnaîtra l'humidité causée par des infiltrations latérales par le fait que le taux

3.2.Modélisation numérique de la structure :**3.2.1) Objectif de l'étude dynamique :**

Les actions sismiques sur un bâtiment sont des actions dynamiques complexes.

Elles se manifestent par des mouvements essentiellement horizontaux imposés aux fondations.

Les constructions résistent à ces mouvements par des forces d'inertie dues à leur masse qui s'opposent aux mouvements. Ce qui entraîne bien entendu des efforts dans les structures.

Le but de l'étude sismique est la détermination des efforts induits et leur distribution dans le système de stabilités.

Dans cette partie nous allons analyser l'effet des deux sens parasismiques qui définies:

-sens I:perpendiculaire à la façade principale

- sens II : parallèle à la façade principale

La détermination de la réponse de la structure et son dimensionnement peuvent se faire par les deux méthodes suivantes :

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectrale.

Les résultats de l'analyse statiques et dynamique sont obtenus après la modélisation de la structure en utilisant le **logiciel SAP 2000**.

3.2.2) Le logiciel SAP 2000 :

SAP 2000 : est un logiciel de calcul et de conception des structures adapté aux bâtiments et ouvrages de Génie Civil. Il offre de nombreuses possibilités d'analyse statiques et dynamiques avec des compléments de conception et de vérification des structures, ainsi il facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

3.2.3) Modélisation de la structure :

Le bâtiment doit être vérifié vis-à-vis l'action dynamique du séisme, elle est supposée être appliquée au centre de masse des planchers rigides. Pour simplifier les calculs on suppose que les masses sont concentrées au centre de masse de chaque étage.

L'action dynamique du séisme est calculée par la méthode modale spectrale. L'action du séisme est représentée par un spectre de réponse introduit comme donnée au programme de calcul. Ce dernier est défini par les règles parasismiques algérienne RPA99/2003 en fonction de la zone sismique, du type d'ouvrage, la classe de site,....comme suit :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1,25A (1+T/T_1 (2,5\eta Q/R-1)) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3 \text{ s} \\ 2,5\eta (1,25A) (T_2/3)^{2/3} (3/T)^{5/3} (Q/R) & T \geq 3 \text{ s} \end{cases}$$

Dans notre cas nous avons les données suivantes :

-Site meuble S3.

-Zone sismique : zone II.

-Ouvrage d'importance moyenne (Groupe 1B).

Coefficient accélération de zone : $A = 0,20$.

Valeur d'amortissement : $\zeta = 10\%$

-Facteur de $Q = 1 + \sum_1^5 P_q$ qualité : = 1.1

a) Combinaisons d'actions :

Les combinaisons de charges prises en compte dans les calculs sont celles définies par les règles CBA93, BAEL91 et les règles parasismiques algériennes RPA99/2003.

COMB 1	ELU	1.35G+1.5Q
COMB 2	ELS	G+Q
COMB 3	GQEX	G+Q±1.2EX
COMB 4	GQEY	G+Q±1.2EY
COMB 5	0.8GEX	0.8G±EX
COMB 6	0.8GEY	0.8G±EY

Ou :

Tab 3.1 : Combinaisons d'action

G : Charges permanentes

Q : Charges d'exploitation

E : Action sismique

b) Descente des charges :

Pour le calcul des charges et surcharges des différents éléments du bâtiment nous utilisons le (DTR B. C2 .2).

Les charges permanentes sont obtenues à partir des dimensions géométriques des éléments et des ouvrages, déduites des plans et du poids volumique des matériaux les constituant.

Terrasse inaccessible :

Charges permanentes	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (KN/m ²)
-Dalle pleine	25	0.14	3.50
-Gravillon de protection d'étanchéité	17	0.05	0.85
-béton projetée	22	0.03	0.66
-Etanchéité multicouches	02	0.05	0.10
-Forme de pente	22	0.10	2.20
-Isolation thermique	04	0.04	0.16
- Faux plafond de plâtre	10	0.02	0.20
		G	7.67
		Q	1.00

Tab 3.2 : Charges de la terrasse**Terrasse accessible :**

Charges permanentes	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (KN/m ²)
-Dalle pleine	25	0.14	3.50
- Carrelage	22	0.02	0.44
- Mortier de pose	20	0.02	0.40
- Lit de sable	18	0.02	0.36
- Faux plafond de plâtre	10	0.02	0.20
		G	4.90
		Q	1.50

Tab 3.3 :Charges de la terrasse**Plancher courant :**

Charges permanentes	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (KN/m ²)
- Carrelage	22	0.02	0.44
- mortier de pose	20	0.02	0.40
- lit de sable	18	0.02	0.36
- faux plafond de plâtre	22	0.02	0.2
- poutrelle en bios	6.9/3	0.15	0.345
- bardeaux jointifs	5.6	0.02	0.112
- remplissage en béton légèrement armée	22	0.08	1.76
		G	3.617
		Q	2.50

Tab 3.4 : Charges d'étage courant

Murs porteur :

Charges permanentes	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (KN/m ²)
-Enduit extérieur (en ciment)	20	0.02	0.4
-moellons.	23	0.5	11.5
-Enduit intérieur (en ciment)	20	0.02	0.4
G			12.3
G Murs (20% d'ouverture)			9.84

Tab 3.5 : Charges de mur**Cloisons :**

Charges permanentes	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (KN/m ²)
-Enduit extérieur	20	0.02	0.40
-Briques creuses	14	0.10	1.40
-Enduit intérieur	20	0.02	0.40
G			2.20
G Murs (20% d'ouverture)			1.76

Tab 3.6 : Charge des cloisons**Acrotère:**

$$S = (0.55 \times 0.6) + (0.6 \times 0.2) = 0.45 \text{ m}^2$$

Pour terrasse accessible $G = 0.45 \times 23 = 10.35 \text{ KN/m}$

Pour terrasse inaccessible (20% d'ouverture) $G = 8.28 \text{ KN/m}$

3.2.4) Application du RPA 99 v 2003 :

Notre structure est soumise au règlement en vigueur, qui exige que le nombre de niveaux ne dépasse pas 2 niveaux ou 8 m pour les bâtiments auto stables avec remplissage en maçonnerie en zone II (Art.3.4).

Nous notons que cette condition n'est pas vérifiée

a. La méthode statique équivalente

Si la structure répond aux conditions d'application de la méthode statique équivalente citée par le RPA99, Art.4.1.2.

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W \quad (\text{RPA 99, Art 4.2.3})$$

A : coefficient d'accélération de zone donnée par le tableau 4.1(RPA99V2003) suivant la zone sismique et le groupe du bâtiment

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zone II} \\ \text{Groupe d'usage 1B} \end{array} \right. \Rightarrow A = 0.20$$

D : facteur d'amplification dynamique moyen en fonction de la catégorie de site de facteur de conation d'amortissement h et de la période fondamentale de la structure T.

$$D = \begin{cases} 2,5 \cdot \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5 \cdot \eta \cdot (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3 \text{ s} \\ 2,5 \cdot \eta \cdot (T_2/T)^{2/3} \cdot (3/T)^{5/3} & T \geq 3 \text{ s} \end{cases}$$

Avec :

T₂ : période caractéristique associée à la catégorie du site et donnée par le tableau 4.7 du RPA99.

$$\text{Site : S3 (meuble)} \Rightarrow T_2 = 0.5 \text{ sec}$$

- η facteur de correction d'amortissement donnée par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0.7$$

ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. ξ est donnée par le tableau 4.2 du RPA99. Portiques en béton armé avec remplissage dense $\xi = 10\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+10}} = 0.76$$

T : période fondamentale de la structure qui peut être estimée à partir des formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques

La méthode empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

$$T = C_T \cdot h_N^{3/4}$$

- ✓ h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau
- ✓ C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage. Il est donné par le tableau 4.6 (RPA 99)

Contreventement assuré par les murs porteurs

Remplissage en maçonnerie : $CT = 0.050$

D'où : $T = 0.05 \times 7.7^{3/4} = 0.23 \text{ sec}$

On remarque que la période est inférieure à $T_2=0.5 \text{ sec}$, donc on est sur le palier du spectre

Donc : $D = 2.5 \eta = 2.5 \times 0.76 = 1.9$

R : coefficient de comportement de la structure, donné par le tableau 4.3 (RPA 99)

Maçonnerie porteuse chaînée : $R = 2.5$

· Q : facteur de qualité, donné par la formule (4-4) : $Q = 1 + \sum_1^5 P_q$

P_q : la pénalité qui dépend de l'observation ou non du critère de qualité q, donnée par le tableau 4.4 (RPA 99)

Donc $Q=1.1$

· W poids de la structure.

$W = \sum w_i$ avec : $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

W_{Gi} : poids du aux charges permanentes est aux équipements fixes solidaires de la structure.

W_{Qi} : poids du aux charges d'exploitation.

β : Coefficient de pondération fonction de la nature de la durée de la charge d'exploitation est donné par le tableau 4-5 du RPA99.

Pour notre cas, on utilise autres locaux non visés ci-dessus : $\beta = 0,60$.

Donc à chaque niveau : $W_i = W_{Gi} + 0,6 W_{Qi}$

· **Poids revenant au niveau terrasse inaccessible :**

$W_t = \text{Plancher terrasse} + 1/2 \text{ poteau} + 1/2 \text{ murs} + 1/2 \text{ cloisons} + \text{acrotère} + 0.6 Q_{ter}$
 $= 122.6 + 0.542 + 99.64 + 2.28 + 40.57 + 9.59$ $W_t = 275.22 \text{ t}$

· **Poids revenant au niveau terrasse accessible :**

$W_{tac1} = \text{Plancher terrasse} + \text{murs} + \text{acrotère} + \text{bion drée} + 0.6 (Q_{ter})$
 $= 38.5 + 120.85 + 31.86 + 11.26 + 7.07$ $W_{tac1} = 209.54 \text{ t}$

$W_{tac2} = \text{Plancher terrasse} + \text{murs} + \text{cloisons} + \text{acrotère} + \text{biondrée en charpente} + 0.6 (Q_{ter})$
 $= 34.87 + 120.85 + 3.25 + 31.86 + 1.5 + 6.40$ $W_{tac2} = 198.73 \text{ t}$

· **Poids revenant au niveau RDC;**

$W_{Ec} = \text{Plancher} + \text{poteau} + \text{murs} + 0.6 (Q_{EC})$
 $= 57.81 + 1.08 + 199.27 + 23.97$ $W_{rdc} = 282.13 \text{ t}$

· **Poids total du bâtiment :** $W_{tot} = 965.62 \text{ t}$

Donc la force sismique globale agissant à la base est :

$V = (0.2 \times 1.9 \times 1.1 \times 965.62) / 2.5 = 1614.52 \text{ KN}$

Règlement	Zone	Groupe	A	D	Q	R	W(t)	Vs(KN)
RPA99V2003	II	1B	0.20	1.9	1.1	2.5	965.62	1614.52

Tab 3.7 : La force sismique

Distribution de la résultante des forces sismique selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base est distribuée sur la hauteur de la structure selon la formule suivante :

$$V = F_t + \sum F_i \quad (\text{art 4.2.5 RPA99})$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} F_t = 0.07TV \text{ si } T \geq 0,7s \\ F_t = 0 \text{ si } T \leq 0,7s \end{cases}$$

On a : $T = 0,23s \leq 0,7s \implies F_t = 0$

la force sismique équivalente qui se développe au niveau (i) est donnée par la formule suivante :

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i}$$

F_i : force horizontale au niveau j.

h_i : niveau de plancher.

F_t : force concentrée au sommet de la structure.

W_i : poids de l'étage.

niveau	W_i (kN)	$V - F_t$ (KN)	h_i (m)	$W_i h_i$	$\Sigma W_i h_i$	F_i (kN)
1	2752.2	1614.52	7.2	19815.84	44670.24	716.2
RDC	6904		3.6	24854.4		898.37

Tab 3.8 : La force horizontale

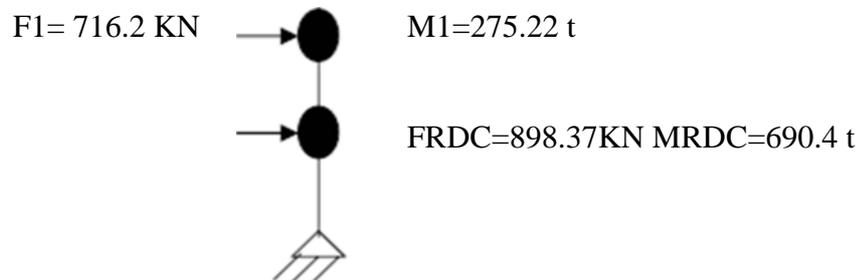


Figure 3.6: distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i \quad (\text{Art 4.2.6 RPA99})$$

Les résultants sont représentés dans le tableau suivant :

Niveau	F_t (t)	F_i (KN)	V_k (KN)
1	0	716.2	716.2
RDC		898.37	1614.57

Tab 3.9 : L'effort tranchant

- **Calcul centre de masse de la structure :**

Les coordonnées du centre de masse GG (XG, YG) sont données par la formule suivante:

$$\begin{cases} X_G = \frac{\sum M_i X_i}{\sum M_i} \\ Y_G = \frac{\sum M_i Y_i}{\sum M_i} \end{cases}$$

Plancher terrasse : $\begin{cases} X_G = 14\text{m} \\ Y_G = 5.5\text{m} \end{cases}$

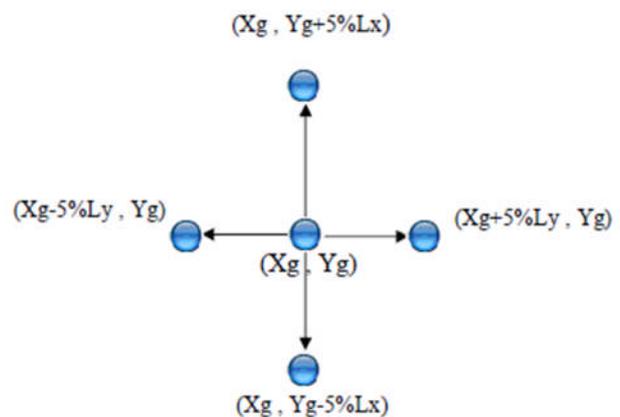
Plancher courant +RDC: $\begin{cases} X_G = 14.5\text{m} \\ Y_G = 5.4\text{m} \end{cases}$

- L'excentricité accidentelle :

Dans notre cas, il est procédé à une analyse tridimensionnelle, donc en plus de l'excentricité théorique calculée, une excentricité accidentelle (additionnelle) égale à $\pm 0.05 L$, (L étant la dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique) doit être appliquée au niveau du plancher considéré et suivant chaque direction.

Sens X : $e_{acc} = 0.05 \times 32 = 1.6 \text{ m}$

Sens Y : $e_{acc} = 0.05 \times 10.8 = 0.54 \text{ m}$



b. La méthode dynamique modale spectrale :

La structure a été modélisée à l'aide du logiciel de calcul SAP2000 en prenant en considération toutes les données recueillies lors de la phase diagnostic.

Nous avons considéré pour notre modélisation, un modèle tridimensionnel encasté à la base, où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois (03) DDL (2 translations horizontales et une rotation autour de l'axe vertical).

Dans notre cas nous avons un bâtiment en maçonnerie la rigidité des éléments porteurs doit être calculée en considérant les sections non fissurées.

Cette analyse compte essentiellement à représenter l'action sismique par un spectre de calcul, comme il est indiqué dans l'article 4.3.3 du RPA 99/2003 ; le spectre de calcul défini précisément est représenté ci-dessous :

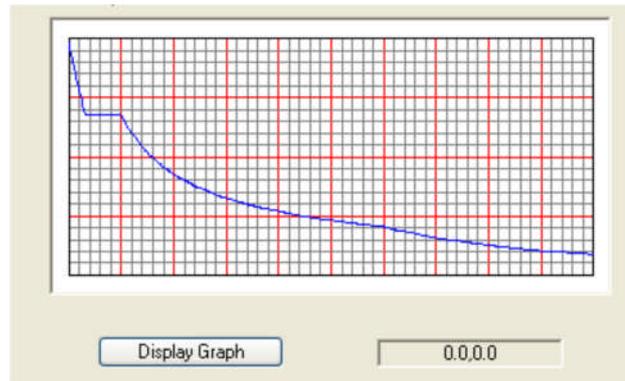


Figure 3.7 : Spectre de calcul avec RPA99 version 2003

Combinaison des modes

La méthode la plus conservatrice utilisée pour estimer une valeur maximale d'un déplacement ou d'une force dans une structure est la méthode "ABS" (la somme des valeurs absolues des réponses modales). Cette méthode suppose que toutes les valeurs modales maximales se produisent en même temps.

Une autre approche très commune, c'est d'utiliser la méthode "SRSS" (la racine carrée de la somme des carrés) avec les valeurs modales maximales des déplacements ou des forces. Cette méthode suppose que toutes les valeurs modales maximales sont statiquement indépendantes. Pour des structures en trois dimensions, où plusieurs fréquences sont identiques, cette supposition n'est pas justifiée.

Une autre méthode très recommandée, c'est la méthode "CQC" (Combinaison quadratique, complète), qui est basée sur la théorie des vibrations aléatoires. La valeur d'une force est estimée à partir des valeurs modales maximales par la formule [Réf.] :

$$F = \sqrt{\sum_m \sum_n f_n \rho_{mn} f_m}$$

f_n : la force modale associée au mode n ;

ρ_{mn} : coefficient modal de CROSS pour la méthode "CQC" avec un amortissement constant donné par [Réf.] :

$$\rho_{mn} = \frac{8\zeta^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\zeta^2r(1+r)^2}$$

$r = \omega_n/\omega_m$: doit être inférieur ou égal à 1

C'est important que la matrice des coefficients modaux de CROSS soit symétrique et que tous les termes soient positifs

Sélection des modes utiles :

Après l'étape de recherche des modes, on dispose d'un certain nombre de modes propres de la structure, mais en pratique, seule une partie de ces modes va apporter une contribution significative à la réponse de la structure.

Pour un bâtiment courant, seul les deux ou les trois premières réponses ont une influence significative sur la réponse vis-à-vis d'une direction donnée du séisme et parmi eux le premier mode appelé mode fondamental qui est largement prépondérant.

En aucun cas, donc le nombre de modes retenus ne doit être inférieur à 3.

À ce titre et afin d'éviter de négliger un mode important, on doit se servir d'un des critères de sélection des modes. Le critère le plus généralement pratiqué est celui des masses modales effectives de telle sorte qu'une obtention d'une somme de masses modales d'au moins 90% de la masse totale représente une vérification efficace.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

MODES	PERIODE	$\alpha_{ix}(\%)$	$\alpha_{iy}(\%)$	Σ CUMULEE <i>Sens x</i>	Σ CUMULEE <i>Sens y</i>
1	0.25379	85.07	0.022	85,07	0,022
2	0.22684	0.028	86.398	85,098	86,42
3	0.14178	0.336	0.079	85,434	86,499
4	0.13671	0.0045	0.062	85,439	86,561
5	0.12258	0.023	0.006	85,462	86,567
6	0.11680	0.012	0.106	85,474	86,673

i) La somme des masses modales effectives est supérieure à 90 % de la masse totale de la structure (RPA99 v 2003, Art 4.3.4). Condition non vérifiée

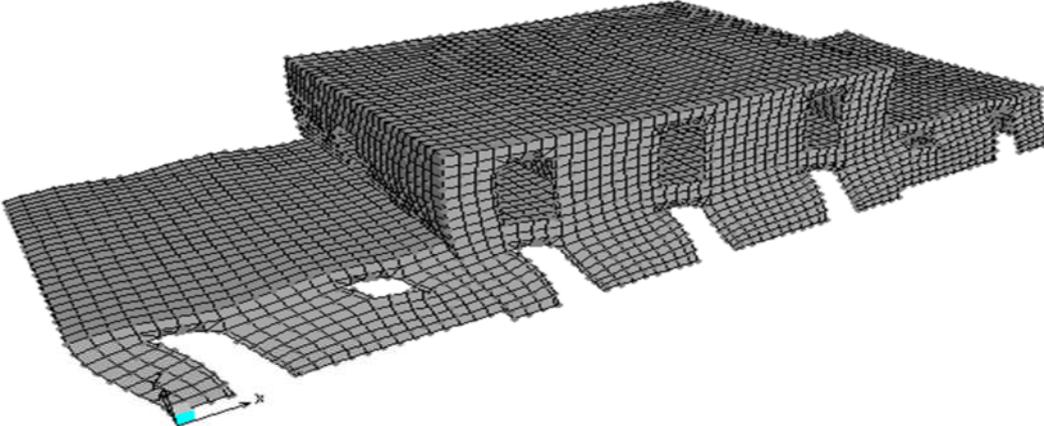
ii) Dans le cas où les conditions décrites ci-dessus ne peuvent pas être satisfaites à cause de l'influence importante des modes de torsion, le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que :

$$K \geq 3 \sqrt{N} \quad \text{et} \quad T_k \leq 0.20 \text{ sec} \quad (4-14)$$

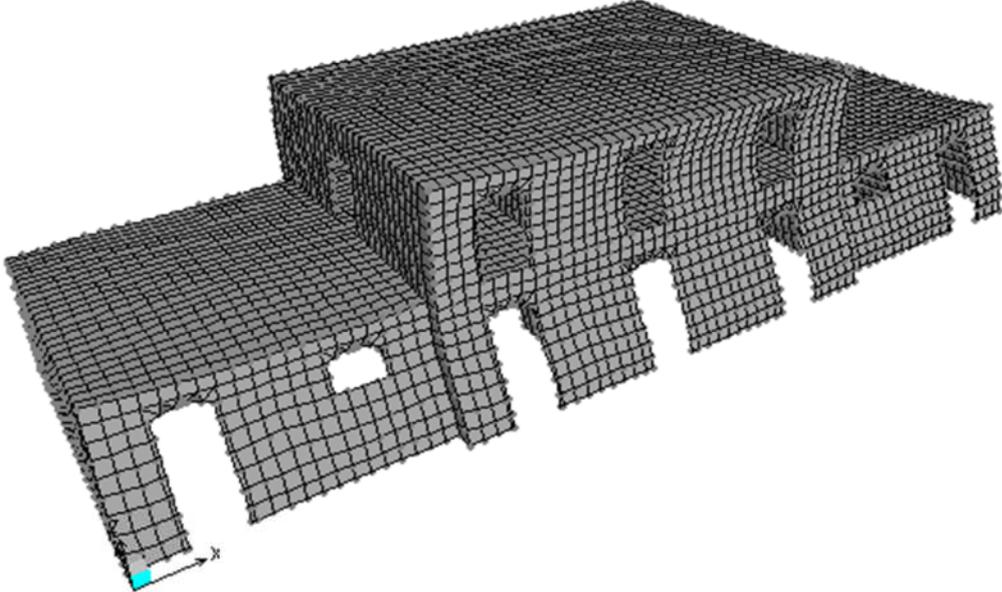
où : N est le nombre de niveaux au dessus du sol et T_k la période du mode K.

$$K \geq 4.24 \quad \text{on prend } K=6$$

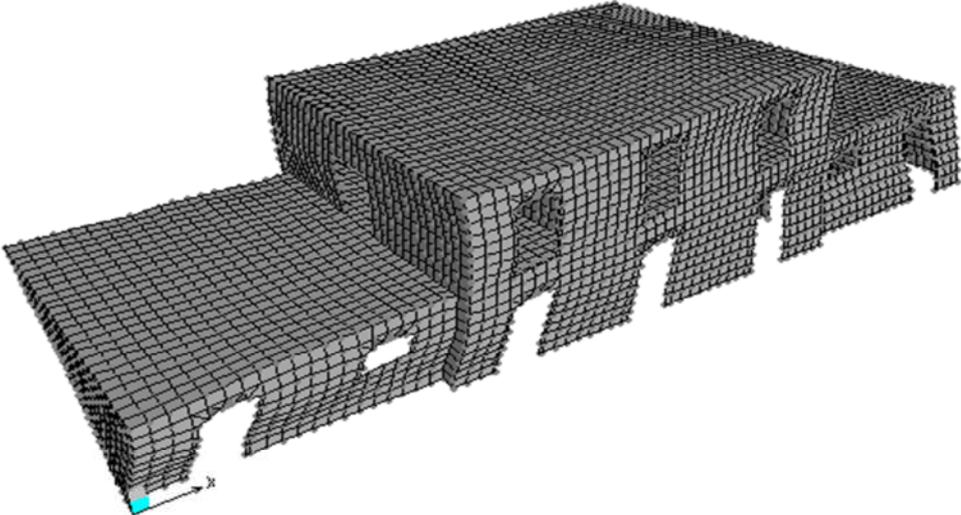
Les figures (3.8 jusqu' à 3.13) représentent les déformées modales correspondant aux six (06) modes de vibrations.



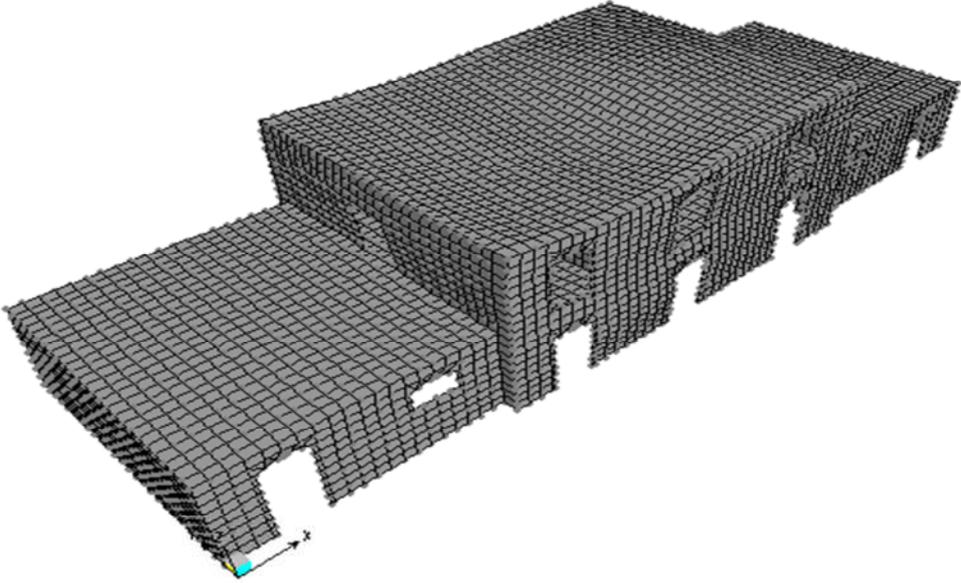
	Mode 01	
$\alpha_{ix} (\%) = 56.928 \%$	$T = 1.11239 \text{ s}$	$\alpha_{iy} (\%) = 0.027 \%$



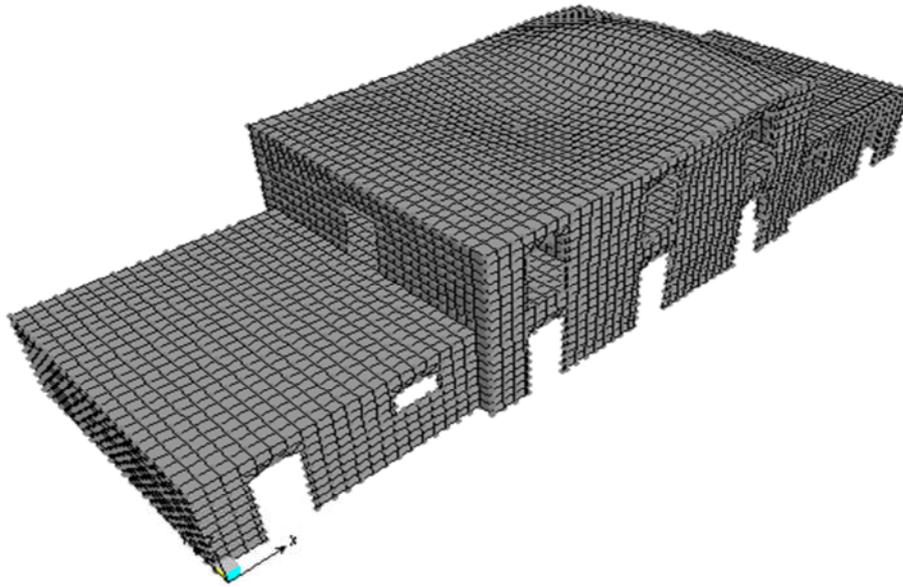
	Mode 02	
$\alpha_{ix} (\%) = 20.659 \%$	$T = 0.7474 \text{ s}$	$\alpha_{iy} (\%) = 0.001 \%$



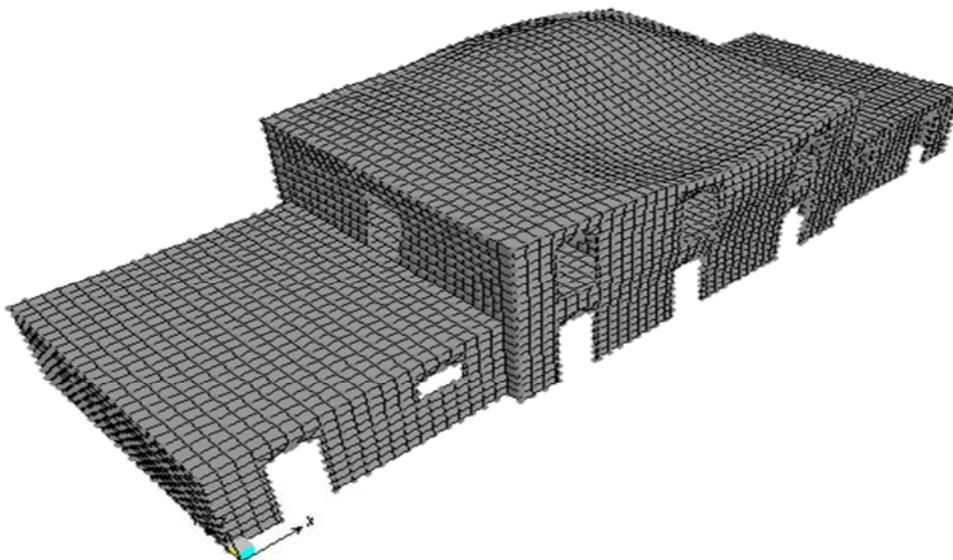
Mode 03		
$\alpha_{i,x} (\%) = 0.005 \%$	$T = 0.6295 \text{ s}$	$\alpha_{i,y} (\%) = 82.000 \%$



Mode 04		
$\alpha_{i,x} (\%) = 12.788 \%$	$T = 0.4226 \text{ s}$	$\alpha_{i,y} (\%) = 0.002 \%$



Mode 05		
$\alpha_{i,x} (\%) = 0.090 \%$	T = 0.2812 s	$\alpha_{i,y} (\%) = 0.009 \%$



Mode 06		
$\alpha_{i,x} (\%) = 0.1796 \%$	T = 0.2315 s	$\alpha_{i,y} (\%) = 10.053 \%$

3.3. Vérifications spécifiques pour l'ensemble de la structure :

3.3.1) Vérification de la période :

Selon l'article 4.2.4 du RPA 99 (version 2003).

Pour maintenir à la vérification delà période par rapport à leur valeur empirique avec la condition : $T_N < 1.3.T_e$

Où T_N est la Période numérique (obtenue par SAP 2000).

T_e : Période empirique

Il faut d'abord l'estimer par la formule suivante:

$$T_e = C_T (h_N)^{3/4}$$

$$T_e = 0.23 \text{ s}$$

$$T_N = 0.25379 \text{ s} \quad 1.3 \times 0.23 = 0.299 \quad \text{donc} \quad T_N < 1.3.T_e \quad \text{condition vérifiée.}$$

3.3.2) Résultante des forces sismiques a la base vt : (art. 4.3.6 RPA 99)

Suite à l'application du spectre de calcul dans les deux sens de la structure, les résultats sont comme suit :

Effort sismique dans le sens X, $F_x = 1005.53 \text{ KN}$

Effort sismique dans le sens Y, $F_y = 1005.53 \text{ KN}$

La résultante des forces à la base F obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V . (RPA99, Art. 4.3.6). Condition non vérifiée.

$V \text{ (KN)}$	$0,8 V \text{ (KN)}$	$F_x \text{ (KN)}$	$F_y \text{ (KN)}$	$0.8 V < F_x$	$0.8 V < F_y$
1614.52	1291.16	1005.53	1005.53	Non	Non

Tab3.10 : Résultante des forces sismiques à la base

La résultante des efforts sismiques à la base n'est pas vérifiée pour les deux sens $F < 0.8 V$, il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacement moments, ...) dans le rapport $0.8V/F$. (RPA99 v2003, Art. 4.3.6)

3.3.3) Vérification des déplacements :

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, et tels que calculés selon le paragraphe 4.4.3 (RPA 99 v 2003), ne doivent pas dépasser

1.0 % de la hauteur de l'étage. (RPA99 v2003, Art. 5.10).

Le déplacement horizontal à chaque niveau "k" est calculé comme suit : $\delta_k = R \delta_{ek}$

δ_{ek} : déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

- **Sens longitudinal**

<i>niveau</i>	$\delta_{ek} (m)$	$\delta_k (m)$	$\Delta_k (m)$	1% H _j	Vérification
RDC	0.0084	0.0021	0.0021	0.036	oui
1er	0.0174	0.0435	0.0414	0.036	non

- **Sens transversal**

<i>niveau</i>	$\delta_{ek} (m)$	$\delta_k (m)$	$\Delta_k (m)$	1% H _j	Vérification
RDC	0.0076	0.0019	0.0019	0.036	Oui
1er	0.0139	0.03475	0.0349	0.036	Oui

3.3.4) Justification de l'effet P-Δ :

L'excentricité des charges verticales résultant des déplacements relatifs des étages provoque dans les murs et les poteaux des efforts axiaux additionnels, ce phénomène est appelé « effet P-Δ ».

Les effets P-Δ peuvent être négligés dans le cas où la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = P_k \Delta_k / V_k h_k \leq 0.10$$

P_k : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau k,

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{qi})$$

V_k : effort tranchant d'étage au niveau "k" :

$$V_k = \sum_{i=k}^n F_i$$

Δ_k : déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1.

h_k : hauteur de l'étage k.

➤ **Types d'effet Delta :**

Il y'a deux types d'effet P-Delta :

- ❖ **Le grand effet P- Δ** : correspondant à la structure prise globalement dans son ensemble. La figure a - illustre ce dernier

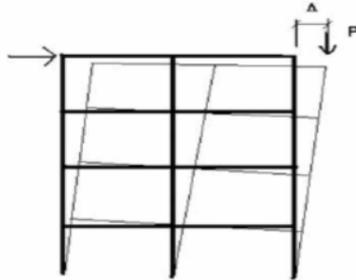


Figure 3.14 : Le grand effet P- Δ

- ❖ **Le petit effet P- δ** : au niveau des éléments. La figure b- schématise cet effet.



Figure 3.15 : Le petit effet P- δ

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

- **Sens longitudinal**

niveau	$\Delta k (m)$	$Vx (KN)$	$M (t)$	g	$W(KN)$	$Pk (KN)$	$h(m)$	θ
RDC	0.0021	1005.53	690.4	9.81	6772.824	13545.648	3.6	0.0078
1er	0.0414	938.44	275.22	9.81	2699.91	2699.91	3.6	0.033

- Sens transversal

niveau	Δk (m)	V_y (KN)	M (t)	g	W (KN)	P_k (KN)	h (m)	θ
RDC	0.0019	1005.53	690.4	9.81	6772.824	13545.648	3.6	0.0078
1er	0.0349	938.44	275.22	9.81	2699.91	2699.91	3.6	0.0033

Remarque

D'après les résultats donnés dans les tableaux ci-dessus, nous pouvons conclure que l'effet $P-\Delta$ peut être négligé dans les calculs ($\theta < 0.10$) dans les deux sens transversal et longitudinal

3.3.5) Vérification de la poutre (IPE240) :

- Les caractéristique de profilée IPE240 :

DESIGNATION abrégée	Poids	Section	Dimension			Caractéristique					
	G Kg/m	A cm ²	h mm	b mm	a mm	I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	W_y cm ³	W_z cm ³	i_x cm	i_y cm
RDC	30.7	39.1	240	9.8	6.2	3892	284	324	47.3	9.97	2.69

- Les poutres IPE240 :

✓ Vérification à la flexion :

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{pl,rd} = \frac{w_{pl,rd} f_y}{\gamma_{m0}} \quad \text{d'où} \quad W_{pl,y} \geq \frac{\gamma_{m0} M_{sd}}{f_y}$$

$$M_{s,d} = 63.43 \text{ KN.m}$$

$$\gamma_m = 1.1 \quad \frac{\gamma_{m0} \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{1.1 \times 63.43 \times 10^3}{235} = 293.9 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 367 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,rd} = \frac{367 \cdot 235}{1.1} 10^{-3} = 78.40 \text{ KN.m}$$

$63.43 \leq 78.40$ (vérifiée) Donc le profilé est admis

✓ **Vérification au cisaillement**

$$V_{pl.rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}} \quad \text{avec} \quad A_v = A - 2 b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f$$

$$A_v = 3910 - 2 \times 120 \times 9.8 + (6.2 + 2 \times 15) \times 9.8 = 19.12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl.rd} = \frac{19.12 \times 235}{1.1 \times \sqrt{3}} = \mathbf{236 \text{ KN}}$$

La vérification de à l'effort tranchant est satisfaite car

$$V_{sd} \leq V_{pl.rd}$$

$$93.18 \text{ KN} \leq 236 \text{ KN}$$

D'après l'article 5.4.8 EC3 l'influence de l'effort tranchant est ignorée si celui-ci n'excède pas 50% de la résistance plastique de la section au cisaillement.

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl}} = 0.39 < 0.5$$

✓ **Vérification au déversement**

$$W_{pl,y} = 367 \text{ cm}^3 \quad 0.5$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}} \right]$$

$$\beta_w = 1 \text{ pour une section de classe 1 ou 2}$$

$$M_{cr} = 115.85 \text{ KN.m} \text{ donné par logiciel SAP 2000}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0.27 < 0.4 \text{ il n'y a pas un risque de déversement}$$

**3.3.6)Vérification des poteaux :
Caractéristiques de l'HEA 240 :**

caractéristique profile	A (cm ²)	Wply (cm ²)	Wplz (cm ²)	Iy (cm ⁴)	Iz (cm ⁴)	iy (cm)	iz (cm)	Classe 01
HEA 240	76,8	745	352	7763	2769	6.00	10.1	

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 = 23.5 \text{ KN/cm}^2$$

Chargement ou sollicitations

$$G+Q+1.2Ey \Rightarrow \begin{cases} N_{sd} = 519.33 \text{ KN} \\ M_{sd} = 39.20 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$N_{pl} = A \times f_y = 76.8 \times 23.5 = 1804.8 \text{ KN}$$

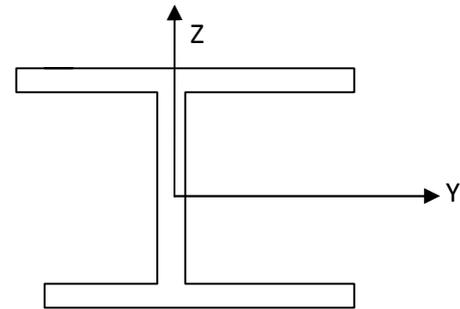
$$M_{ply} = W_{ply} \times f_y = 745 \times 23.5 = 175.07 \text{ KN.m}$$

$$a = \min \left(0.5, \frac{A_w}{A} \right) = 0.25$$

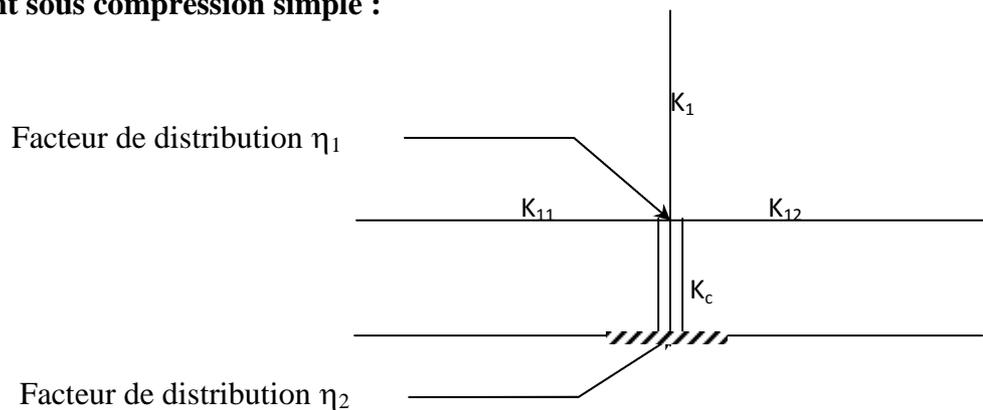
$$A_w = A - 2b t_f$$

$$M_{N,y,rd} = M_{ply} \left(\frac{1 - \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}}}{1 - 0.5a} \right) = 175.07 \left(\frac{1 - \frac{519.33}{1804.8}}{1 - 0.5 \times 0.25} \right) = 142.5 \text{ KN.m}$$

Donc $M_{sd} \leq M_{N,y,rd}$



a) Flambement sous compression simple :



- Plan portique (inertie I_{yy})

$$\eta_1 = \frac{k_c + k_1}{k_c + k_1 + k_{12} + k_{11}} \quad k_{11} = k_{12} = 1.5 \frac{I}{L} \text{ (Rayon de giration)}$$

$$= \frac{\frac{7763}{3.45} + \frac{7763}{3.4}}{\frac{7763}{3.45} + 2.1,5 \frac{5790}{5.4} + \frac{7763}{3.4}} = 0.58$$

annexe E.5 eurocode3

$$\eta_2 = \begin{array}{c} \leftarrow \\ \rightarrow \end{array} \quad \text{encastrement}$$

$$\frac{L_{ky}}{L_0} = \left[\frac{1 - 0.2(\eta_1 + \eta_2) - 0.12 \eta_1 \eta_2}{1 - 0.8(\eta_1 + \eta_2) + 0.60 \eta_1 \eta_2} \right]^{0.5} = 0.707$$

$$L_{ky} = 0.707 \times 3.6 = 2.54 \text{ m}$$

annexe E.2 eurocode3

 L_{ky} : Longueur de flambement

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{254}{10.1} = 25.14 \quad \text{tel que} \quad i_y = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0.5} = 93.9 \varepsilon$$

$$\varepsilon = [235 / f_y]^{0.5} = 1$$

$$\bar{\lambda}_y = (\lambda / \lambda_1) [\beta_A]^{0.5} = \frac{25.14}{93.9} = 0.26$$

 $\bar{\lambda}_y$ Elancement réduit

$$\frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0.95 < 1,2 \Leftrightarrow t_f < 100 \text{ mm} \Leftrightarrow \chi = 0.98 \Leftrightarrow \text{page 171 euro code 3}$$

$$N_{sd} \leq \beta_A A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 519.33 \leq 0.98 \times 1 \times 76.8 \times \frac{23,5}{1.1} = 1607.9 \text{ KN} \quad \text{donc c'est vérifiée}$$

Plan portique (inertie I_{zz})

$$\eta_1 = \frac{\frac{2769}{3.45} + \frac{2769}{3.4}}{\frac{2769}{3.45} + 2.15 \frac{420}{5.4} + \frac{2769}{3.4}} = 0.87$$

$$\eta_2 = 1 \quad \Leftrightarrow \text{encastrement}$$

$$L_{KZ} = 0.707 \times 3.6 = 2.54 \text{ m}$$

$$*\lambda_z = \frac{L_{kz}}{i_z} = \frac{254}{6} = 42.33 \quad \text{tel que} \quad i_z = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{42.33}{86.8} = 0.48 \Leftrightarrow \chi_z = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \lambda^2)^{0.5}} \leq 1 = 0.92 < 1$$

$$\Phi = 0.5 (1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.648 \quad \alpha = 0.24$$

$$N_{sd} \leq \beta_A \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 519.33 \leq 0.92 \times 1 \times 76.8 \times \frac{23.5}{1.1} = 1509.5 \text{ KN} \quad \text{Donc c'est vérifié}$$

b) Flambement par flexion

$$\chi_{\min} = 0.92$$

$$\chi = \chi_z = 0.98 \quad \chi : \text{coefficient de réduction de flambement}$$

$$M_{cr} = 193.25 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \left(\beta_w \frac{M_{ply}}{M_{cr}} \bar{\lambda}_{lt} \right)^{0.5} \quad \text{élancement de déversement}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{175.07}{198.25}} = 0.94 > 0.4 \Leftrightarrow \chi_{lt} = 0.83$$

Remarque

Ces vérifications concernent les éléments du RDC ou les efforts à prendre en charge sont les plus défavorables.

CHAPITRE 4

TRAVAUX ET TECHNIQUES DE REHABILITATION

4.1. Synthèses et réflexions sur l'analyse :

La réhabilitation des structures existantes pose un problème très complexe, ainsi on se trouve dans le cas de deux approches extrêmes qui d'un côté ceux qui considèrent que le problème de réhabilitation d'une structure existante peut être résolu par une analyse sophistiquée en utilisant des moyens de calcul adéquats tel un ouvrage à projeter (ouvrage neuf), et d'un autre côté ceux qui considèrent que le renforcement d'une structure existante relève de l'art, de l'intuition et de l'expérience de l'ingénieur.

Les deux approches se rejoignent sur un seul point qui est la bonne connaissance des critères d'une bonne conception parasismique, qui est insuffisante car l'ingénieur est limité par les conditions du code.

A partir des résultats de la vérification des éléments structuraux que nous avons entamés dans le chapitre précédent, nous avons noté des insuffisances au niveau de la rigidité de l'ensemble éléments de la structure de ce fait, nous pouvons affirmer que ce bâtiment est vulnérable. Afin d'améliorer le comportement du bâtiment vis à vis du séisme et la vétusté, il a été procédé au réhabilitation de la structure par le planning des tâches à entreprendre suivant :

- intervention les murs porteurs de la structure.
- intervention sur les planchers.
- chemisage en B.A des poteaux.
- L'introduction de nouvel escalier.

4.2. Planning des taches

Description des taches :

Activité	Taches	La durée (jours)	Taches commun
A	Intervention sur les murs	8	/
B	Interventions sur les poteaux	2	A
C	Cage d'escalier	4	A
D	Drainage	5	A
E	Travaux d'étanchéité	6	A
F	Interventions sur les planchers	18	B
G	Faux plafond	3	B-C-D-E
H	Revêtements de sol	8	G
I	la menuiserie	4	H
J	Peinture	6	I-H

Méthode de GANNT

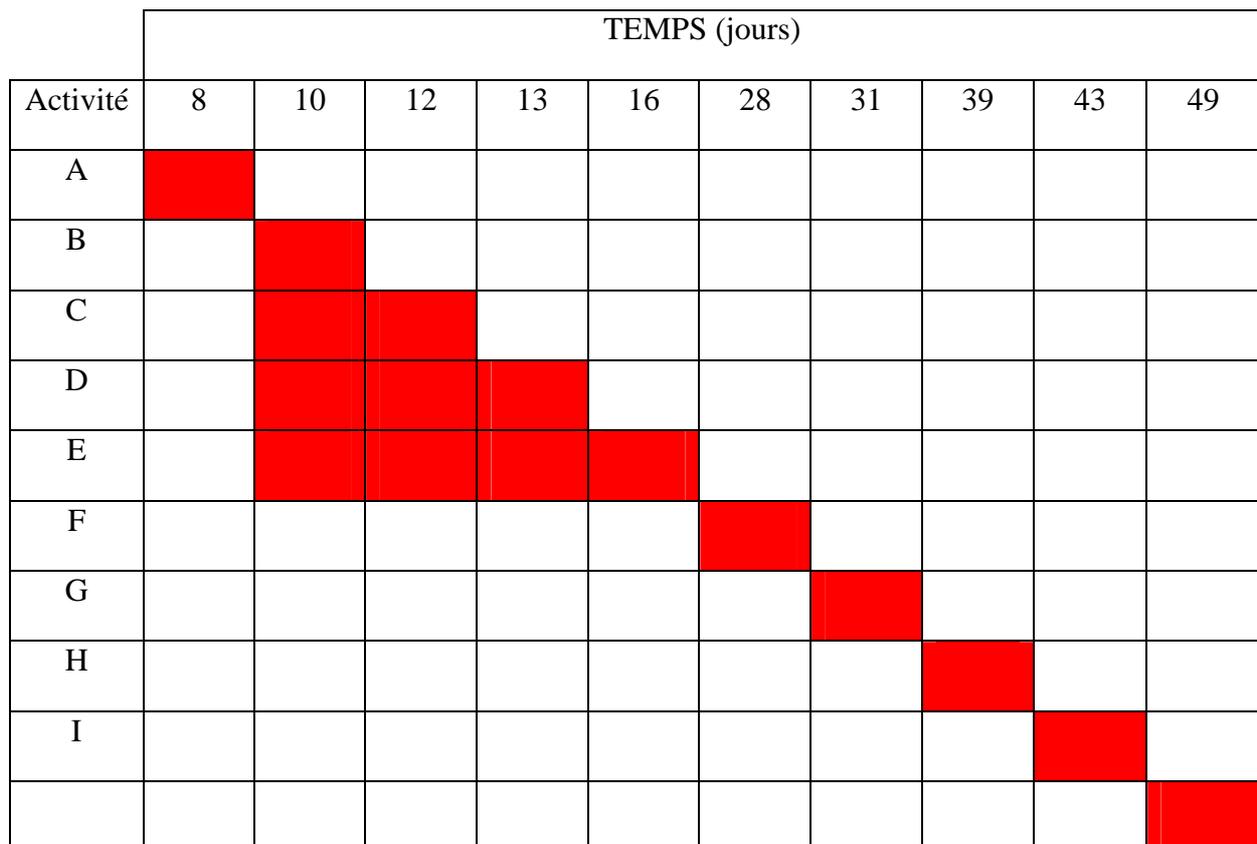


Tableau.4.1. Tableau de GANNT

4.3. Techniques de réhabilitation:

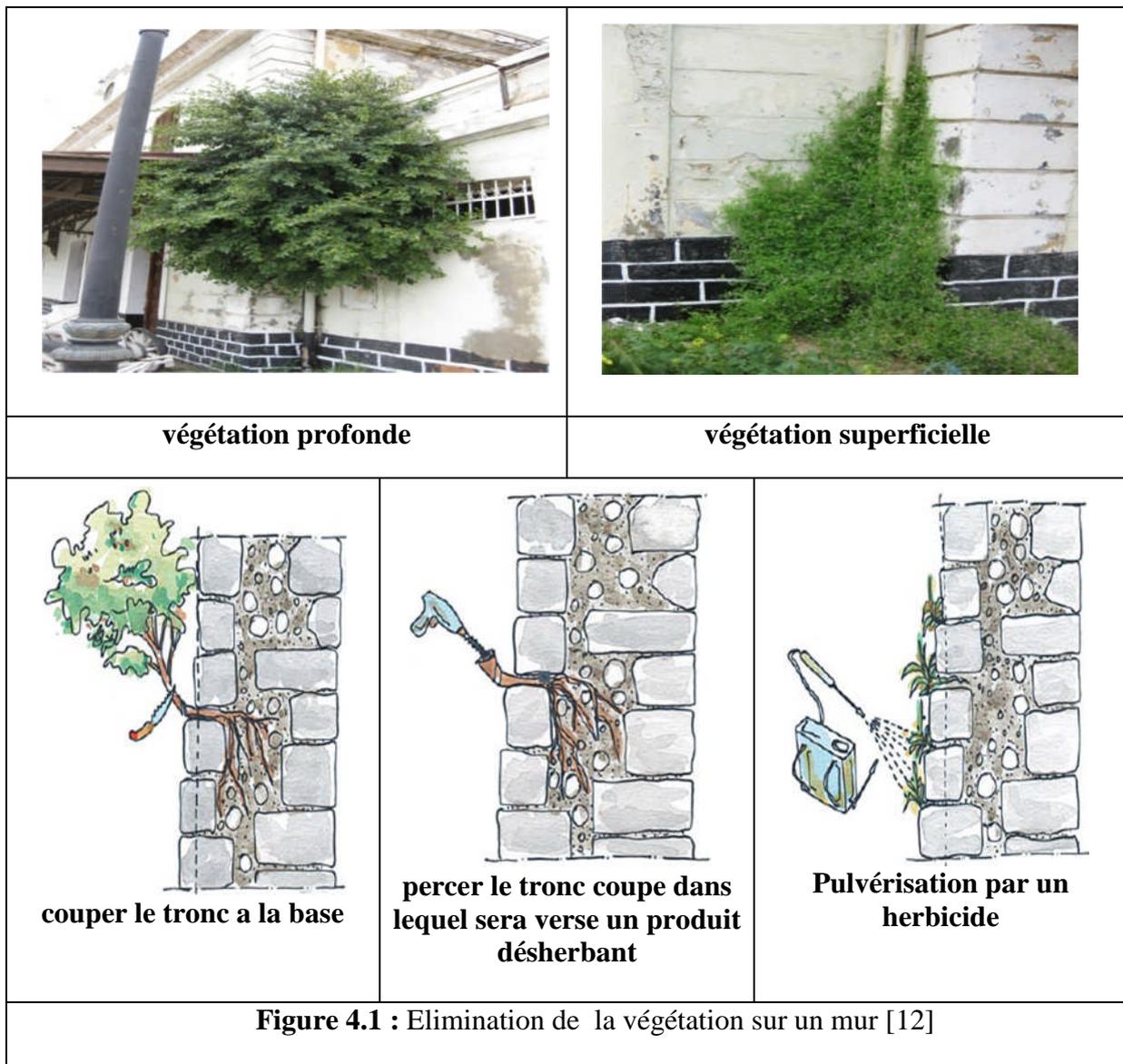
Après avoir passé en revue les désordres importants observés nous exposons dans ce chapitre certaines techniques de réhabilitation de la structures :

4.3.1. Intervention sur les murs porteurs de la structure :

Cette technique consiste à renforcé la rigidité des murs et à accroître la résistance des ouvertures (éléments travaillant en compression) :

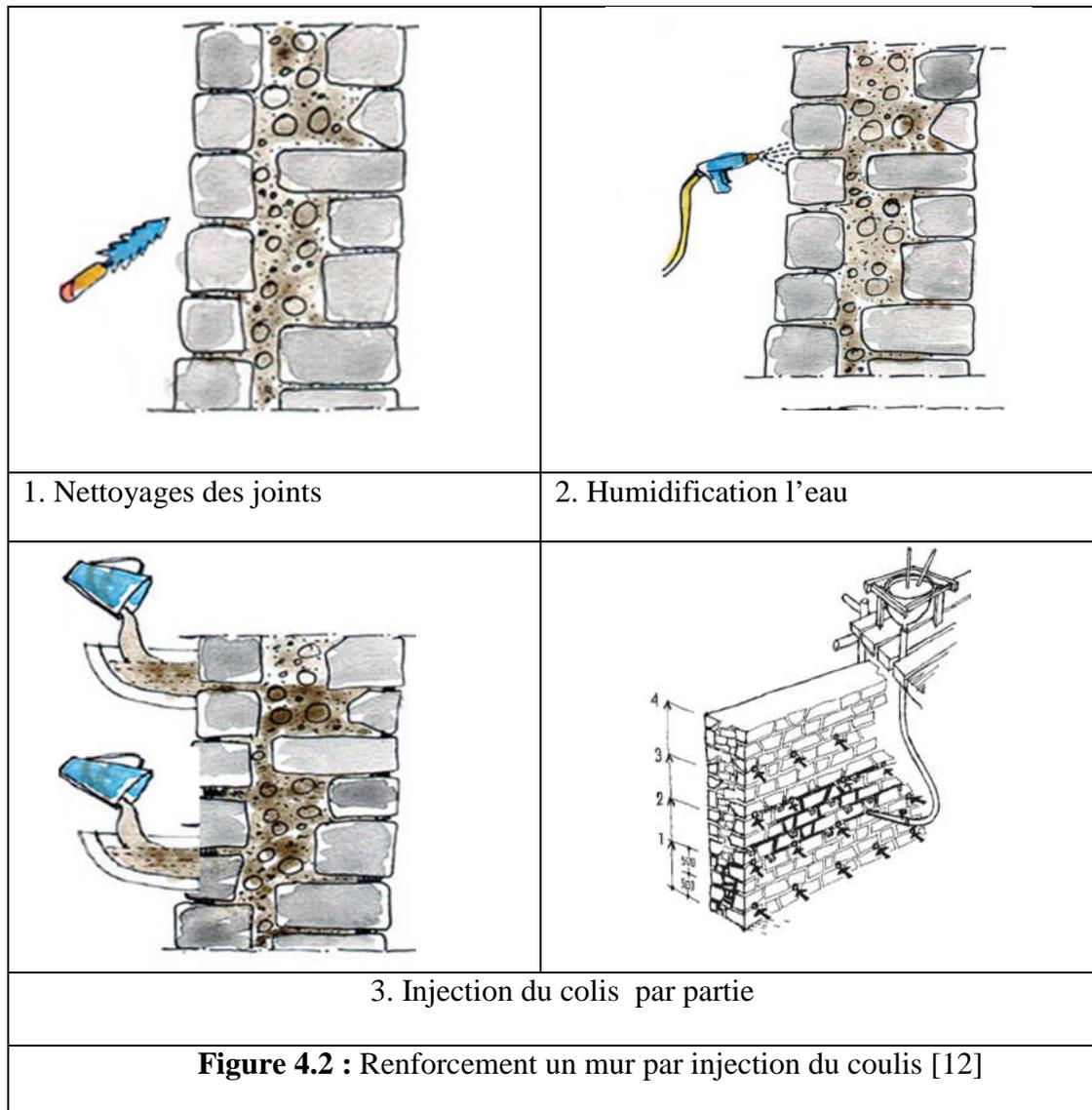
a) Eliminer la végétation sur un mur :

- Dans un premier temps, on procède à un sciage du tronc à la base, proche du niveau du sol. Coupée de son « cordon ombilical » vital, la plante meurt et se détache.
- La racine de la plante coupée est ensuite traitée afin de la tuer. Elle peut être injectée à la seringue dans le tronc, avec un désherbant ou équivalent ou percée en biais vertical jusqu'en son centre avec une perceuse ou un poinçon, reproduit étant versé dans le trou. Ce produit détruit en profondeur les racines qui ont pénétré dans la maçonnerie.



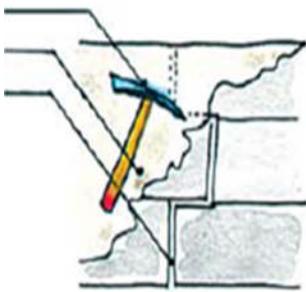
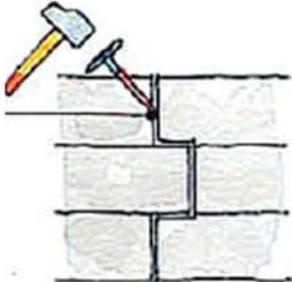
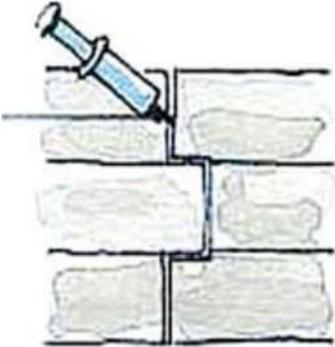
b) Renforcer un mur par injection du coulis :

La consolidation des maçonneries par l'injection de coulis consiste à Nettoyer les joints et les regarnir avec un mortier à base de ciment dosé. La granulométrie peut varier en fonction de la largeur des joints. Le mortier sera plus dosé en liant pour les joints minces, qui sont moins sujets au retrait. Après humidification, on injecte la maçonnerie avec un coulis à grande fluidité



c) Traitement des fissures :

Les fissures stables de formes diverse et variées, ces fissures qui ne sont plus évolutives peuvent être soit traitées par injection de résines époxydes ou acryliques à l'aide d'aiguilles d'injection, ou également être réparées avec un joint de mastic au pistolet pour les petites fissures.

	
<p>Piochon Enduit fissure</p> 	<p>Ciseau ou burin</p> 
<p>1. Décroûtage de la zone fissurée</p>	<p>1. Dégagement et Nettoyage des joints</p>
<p>Eau</p> 	 <p>Injection de coulis</p>
<p>4. Humidification</p>	<p>5. Rebouchage du creux de la Fissure</p>
<p>Figure 4.3 : Traitement des fissures [12]</p>	

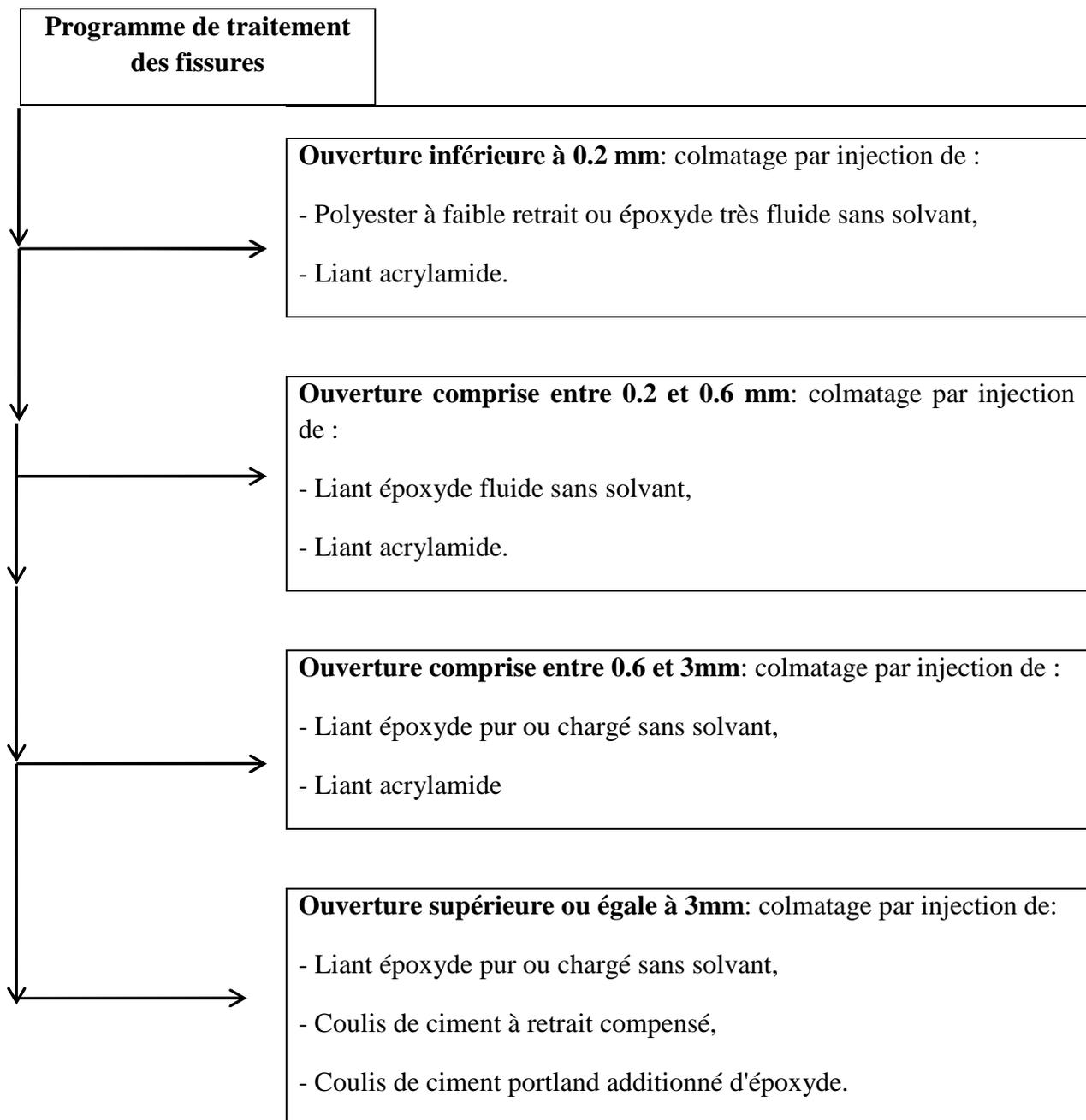


Tableau 4.2. Cheminement à suivre pour traiter des fissures.

d) Traitement des arcs et linteaux :

Renforcement avec utilisation des enduits de renfort à base de mortier armé.

Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseurs de matériau –mortier – après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur. La mise en œuvre du matériau de renfort peut se faire en disposant des coffrages parallèles aux parements et en y coulant ensuite la préparation, ou bien par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage en choisissant la procédure selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort. Cette qualité la rend tout spécialement appropriée pour renforcer des bâtiments quelles mouvements sismiques auront abîmés, en augmentant la rigidité des parties du bâtiment qui l'exigent et, au besoin, celle de l'ensemble du bâti.

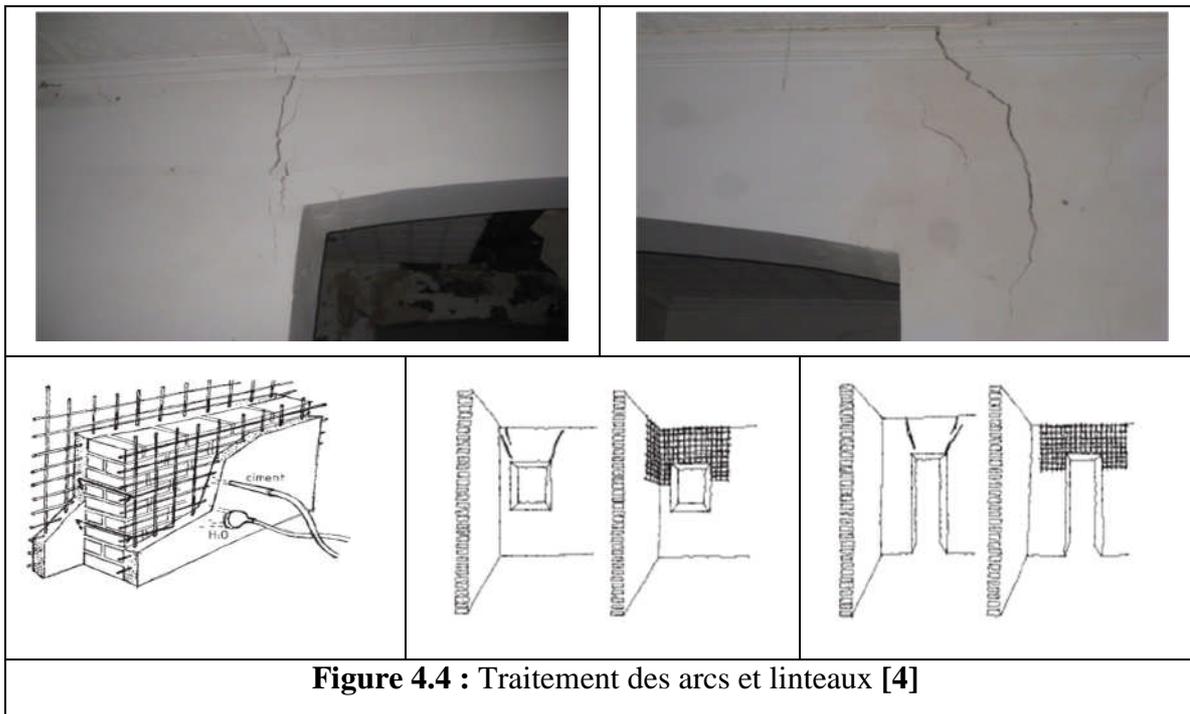


Figure 4.4 : Traitement des arcs et linteaux [4]

e) Rejointoiements :

C'est de restituer la résistance initiale avec rejointoiement les joints de mortier les parties détériorées par l'érosion ou par les racines de plantes qui ont poussé entre les pierres.

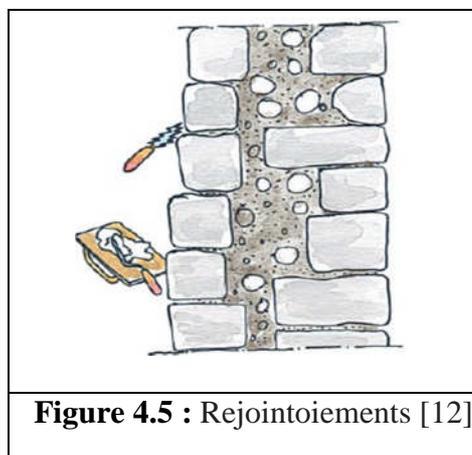


Figure 4.5 : Rejointoiements [12]

f) Réparation des enduits sur murs en maçonnerie :

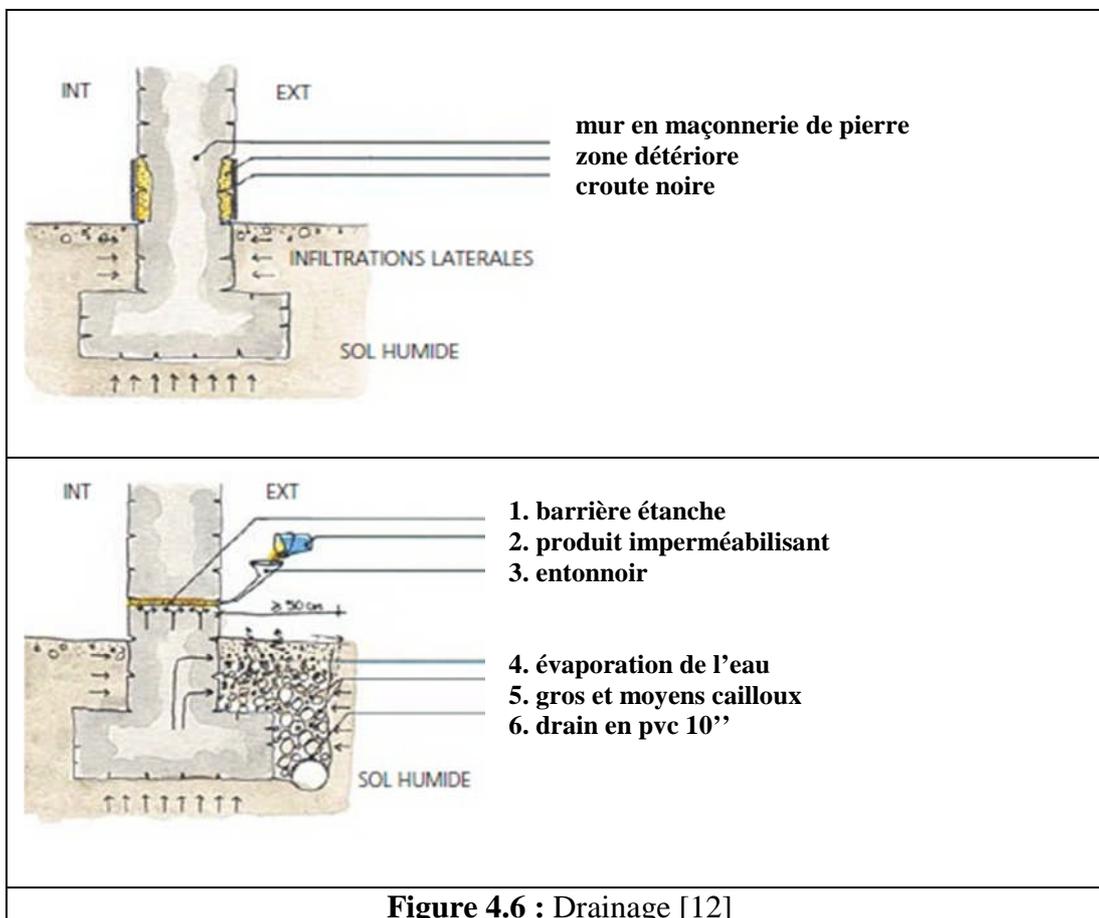
Ce dommage n'affectant pas la tenue structurelle de l'ouvrage, mais portant atteinte à l'esthétique, nous avons préconisé ce qui suit :

- 1) Enlèvement de toute la partie endommagée de l'enduit jusqu'à atteindre la partie saine.
- 2) Procéder à la mise en place d'un enduit classique.

4.3.2. Drainage :

Il s'agit de canalisations enterrées soit en poterie, en béton de ciment, en fibrociment ou en plastique perforé du côté supérieur, elles permettent de recueillir les eaux et de les évacuer hors du périmètre à aménager.

L'évacuation des eaux captées par les drains est assurée par des canalisations qui collectent successivement chaque file de drain, conduisent les eaux en dehors du terrain à assainir



4.3.3. Interventions sur les planchers :

Pour les planchers du RDC, la solution est tombée sur l'ajout d'éléments métallique parallèle aux poutrelles et qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur les poutrelles.

L'humidité combinée à certaines conditions climatiques favorise la croissance des micro-organismes au niveau du bois, générant la pourriture de ce dernier. Cette pourriture se caractérise pour le bois par la perte de sa masse et de sa résistance.

Pour la réparation, il faut procéder à l'élimination de la cause de l'altération du bois.

1. Assurer l'évacuation des eaux loin du bois, en supprimant ainsi une des causes majeures du développement de ces parasites.
2. séché le bois humides
3. Traiter le bois par la pulvérisation dans les trous des insectes des produits insecticides et fongicides.
4. Traiter ensuite toute la surface du bois au créosote, au chlorure de zinc ou au sulfate de cuivre, afin d'améliorer sa résistance aux attaques des insectes et des champignons.
5. ajout d'éléments métalliques aux planches ;

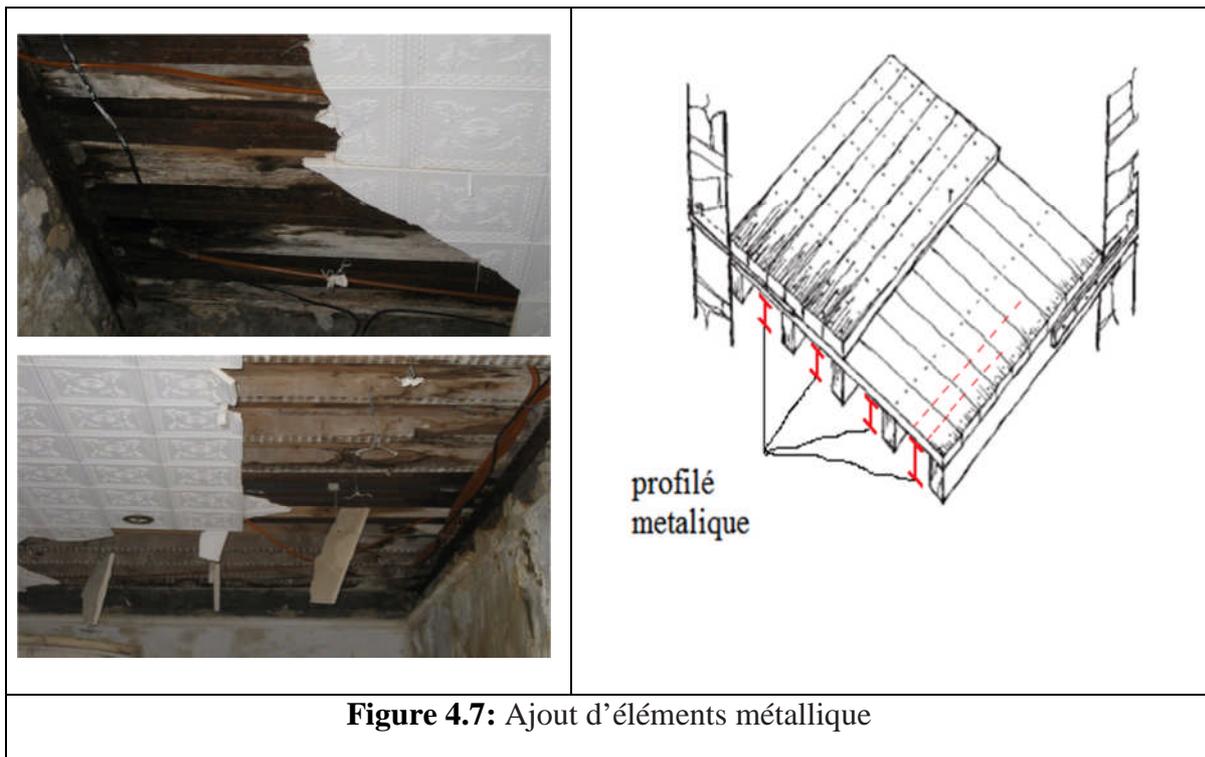
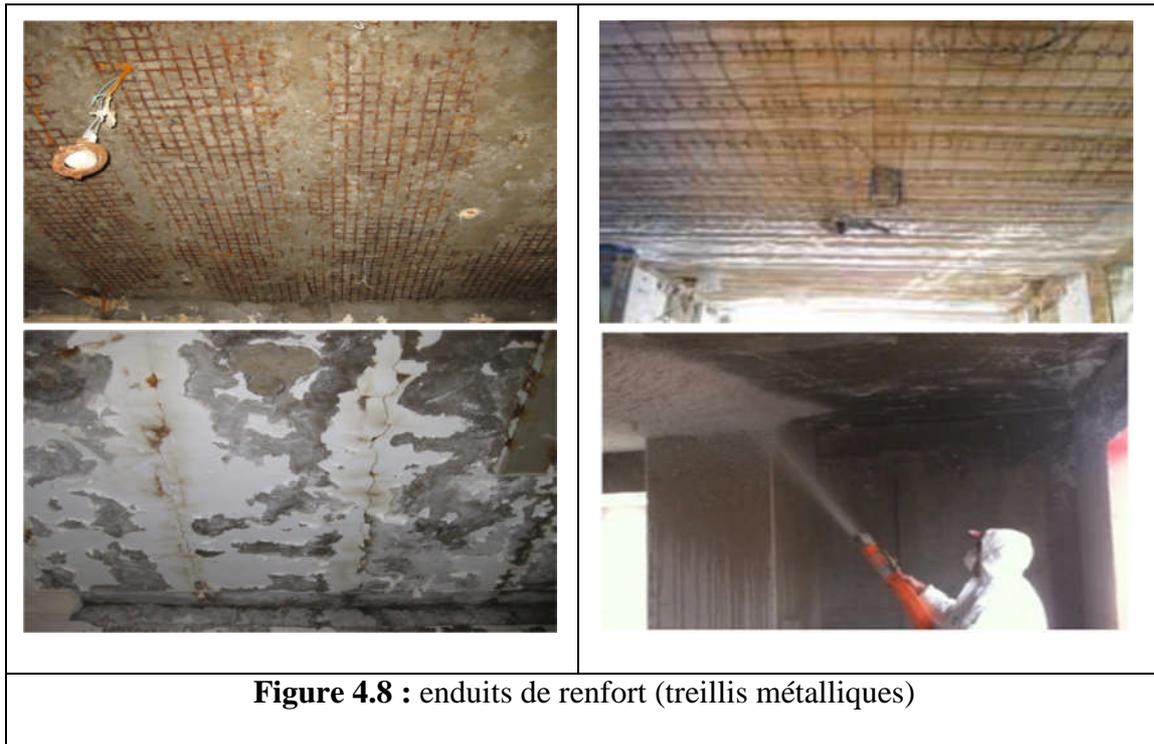


Figure 4.7: Ajout d'éléments métallique

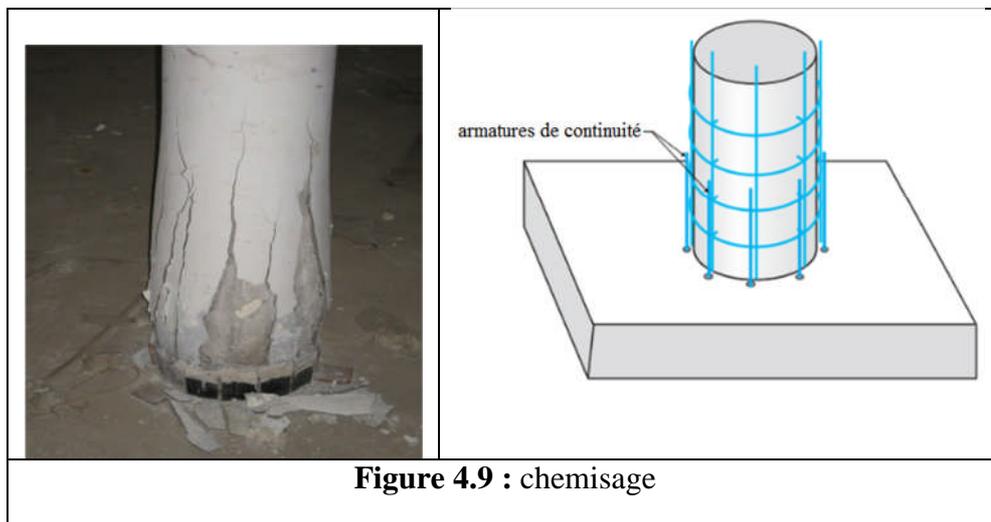
Pour les autres planchers on enlève les enduits

Utilise des enduits de renfort à base de béton armé Commençons par la pose de treillis métalliques et on la fixe avec les planchers, en suite appliquer par projection un micro béton richement dosé par couches successives jusqu'à atteindre une épaisseur de 8cm minimum.



4.3.4. Interventions sur les poteaux :

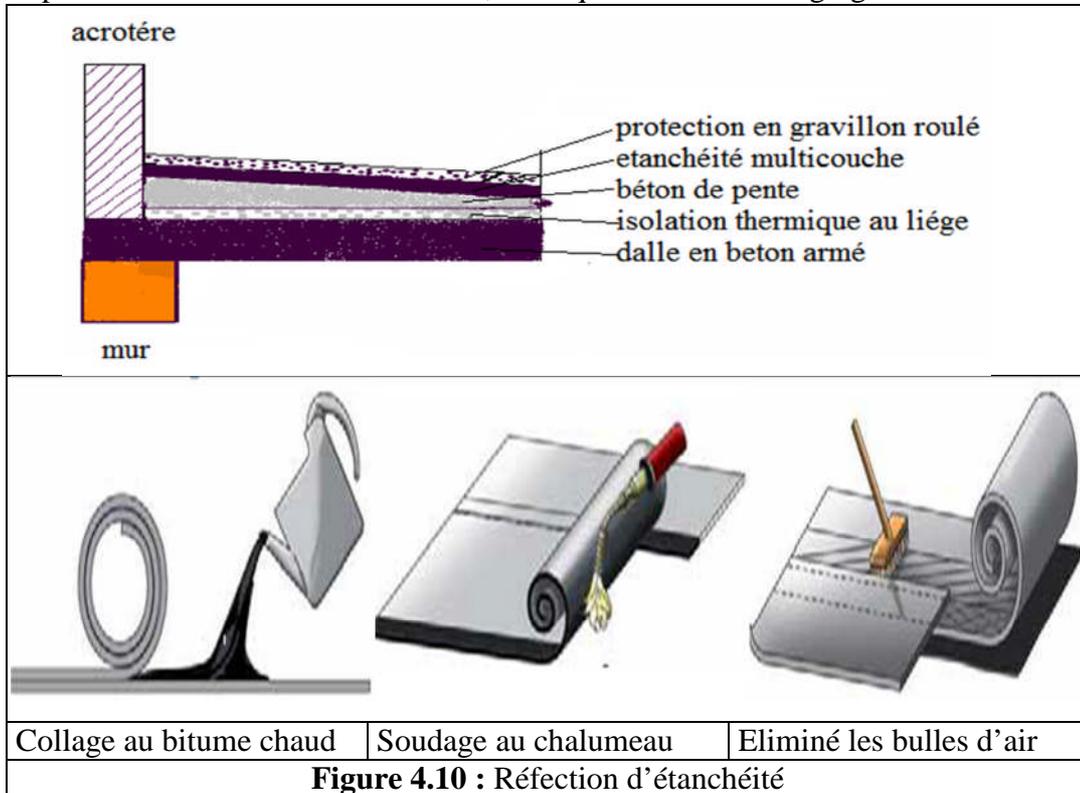
Dans notre cas nous avons deux poteaux en profilés métallique de type HEA 240, couverte béton qui rende le poteau circulaire, la présence des fissures verticale sur ces poteaux nous conduit a proposé d'enlever les enduits endommagé et le remplacé par la technique de chemisage en béton armés.



4.3.5. Etanchéité :

Réfection totale du complexe d'étanchéité des terrasses,

- ✓ Remettre en état les gaines techniques.
- ✓ Reprendre toutes les conduites et les descentes d'eaux pluviales et usées.
- ✓ Réparer les revêtements des terrasses, ainsi que les avaloirs et gargouilles.



4.3.6. Sanitaire :

Pour les sanitaires la recommandation est de rénover toute les accessoires avec implantation des gaine de ventilation (figure 4.8)

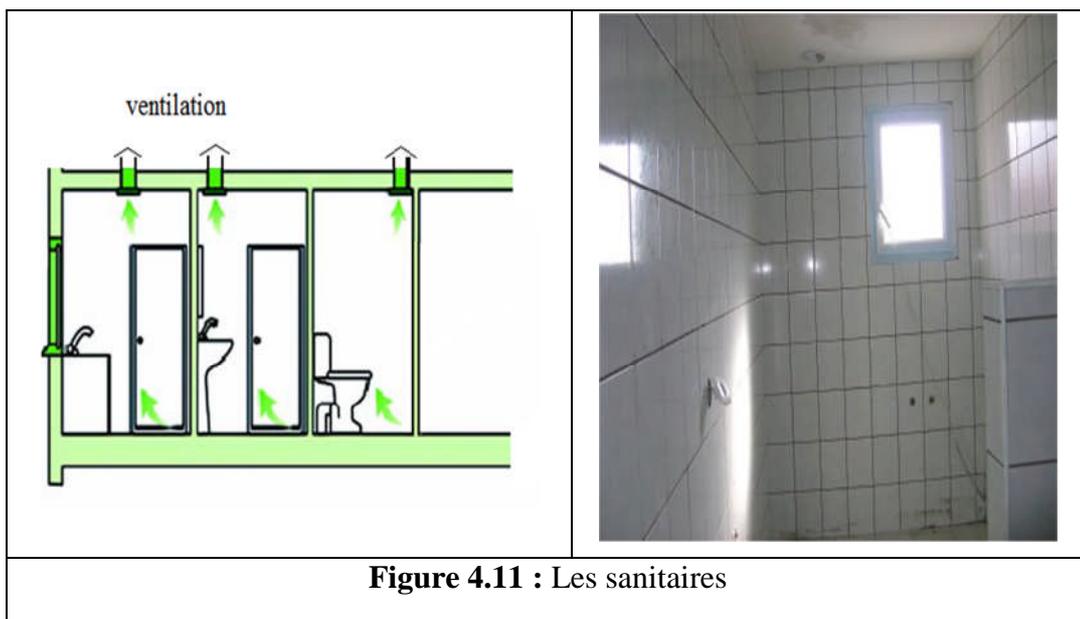
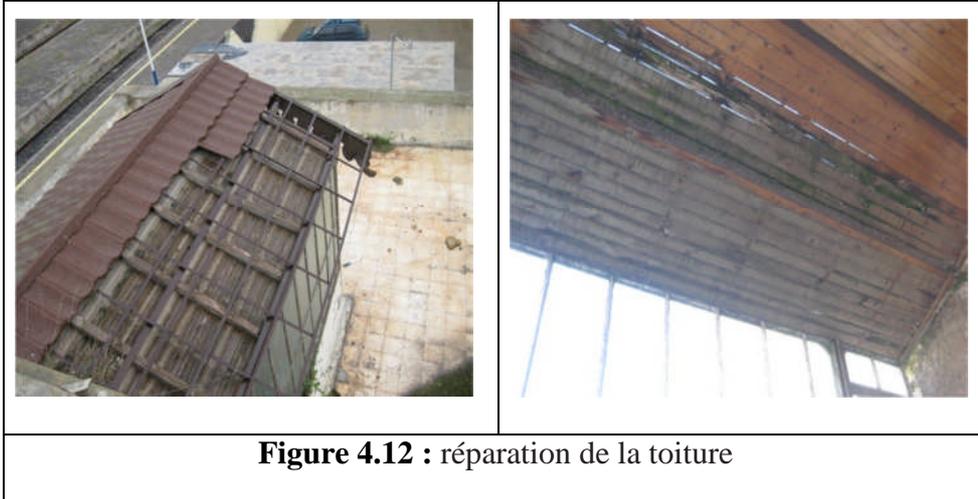


Figure 4.11 : Les sanitaires

4.3.7. Cage d'escalier :

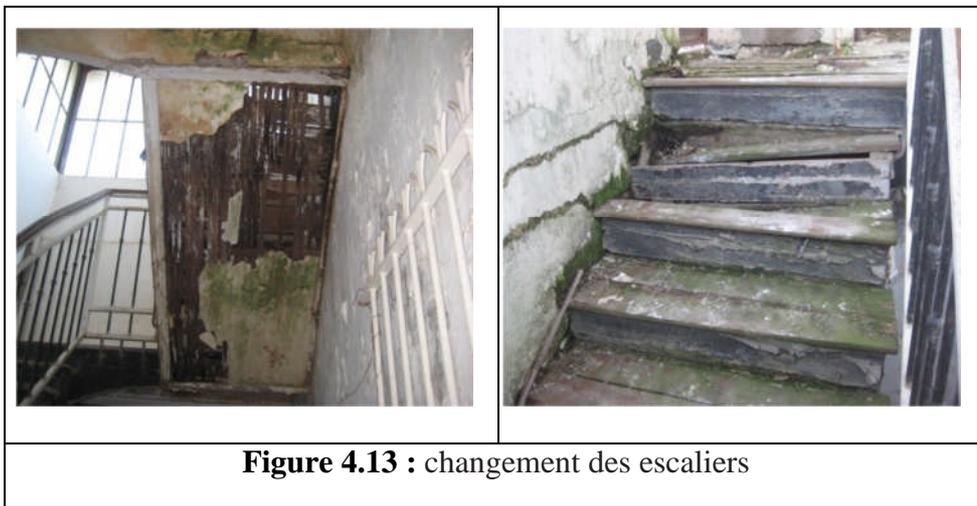
Toiture :

Réinstallation des pièces de la toiture enlevée et changement des vitres cassées, à l'intérieure on doit sécher et nettoyer le bois humides et le repeindre.



Escalier :

Pour les escaliers le choix est tombé sur le remplacement avec de nouveau escalier on garde les mêmes dimensions et le garde de corps



4.3.8. Intervention sur la menuiserie :

Les porte d'entrée son en bonne état sauf il faut les repeindre et refaire les serrures et les vachettes, pour les ports de l'intérieure en doit installes des nouveaux ports.

Pour les fenêtres on doit les réparé commençons par Le remplacement des éléments disparus est essentiel pour remettre les éléments de menuiseries dans leur état d'origine.

en suite amélioration de l'étanchéité des menuiseries à l'air et a l'eau avec l'utilisation des joints « sur ouvrants » ou « sur dormants » qui améliorent considérablement l'étanchéité à l'air des menuiseries, et le changement des vitres cassée,

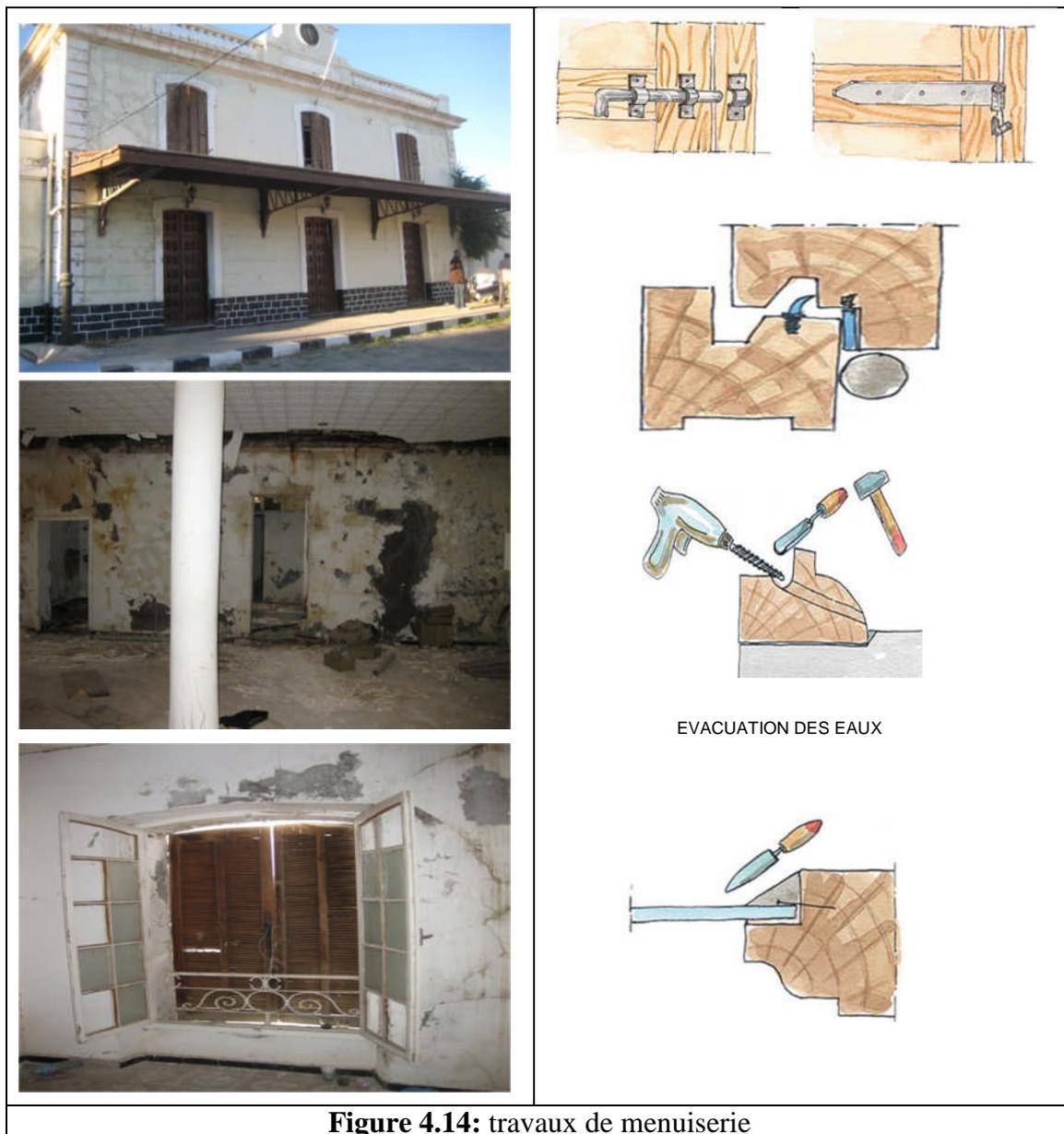
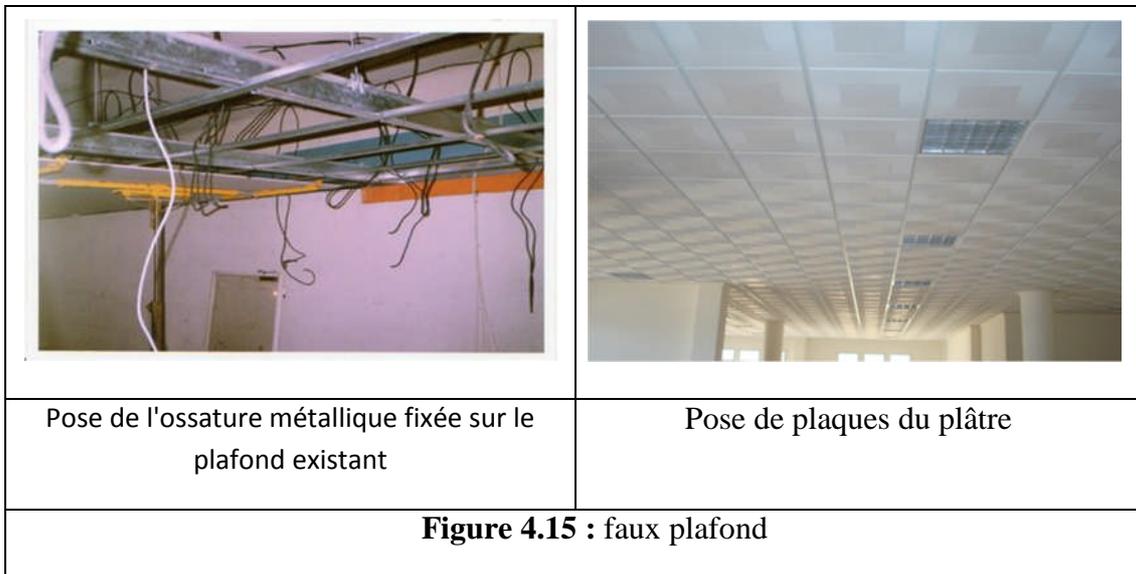


Figure 4.14: travaux de menuiserie

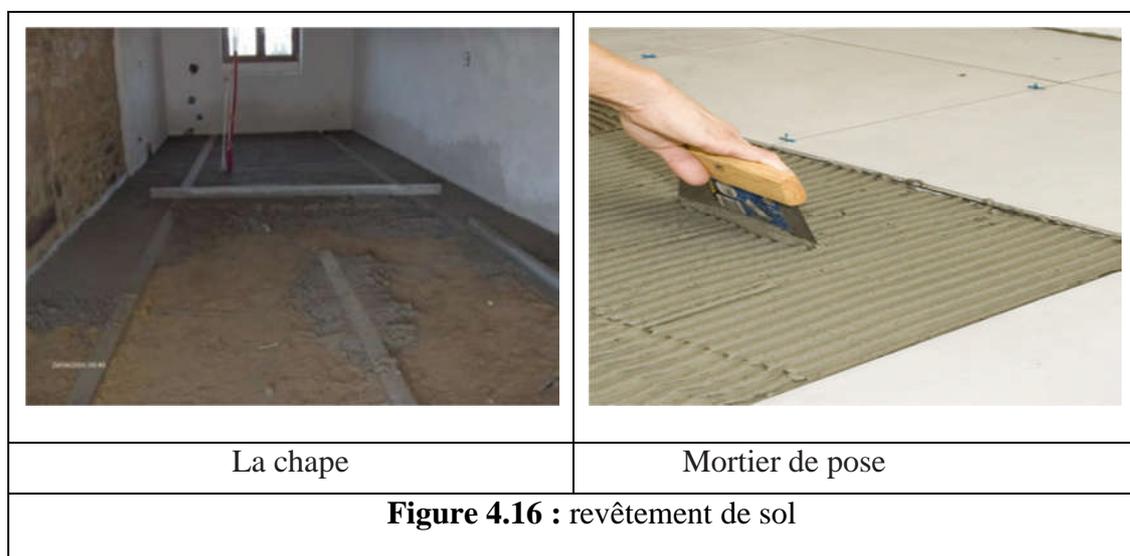
4.3.9. Faux plafond :

On utilise des faux plafonds en plaques de plâtre



4.3.10. Revêtements de sol :

Le choix de revêtements est tombé sur Carreaux de céramique à cause de leur disponibilité sur le marché algérien et le savoir faire



Pose scellée

La chape.

La chape est réalisée au mortier maigre : mélange chaux/ciment et sable naturel lavé (granulométrie 0,2/0,4). Une fois la forme réalisée, nous commençons la mise en place.

L'adhérence.

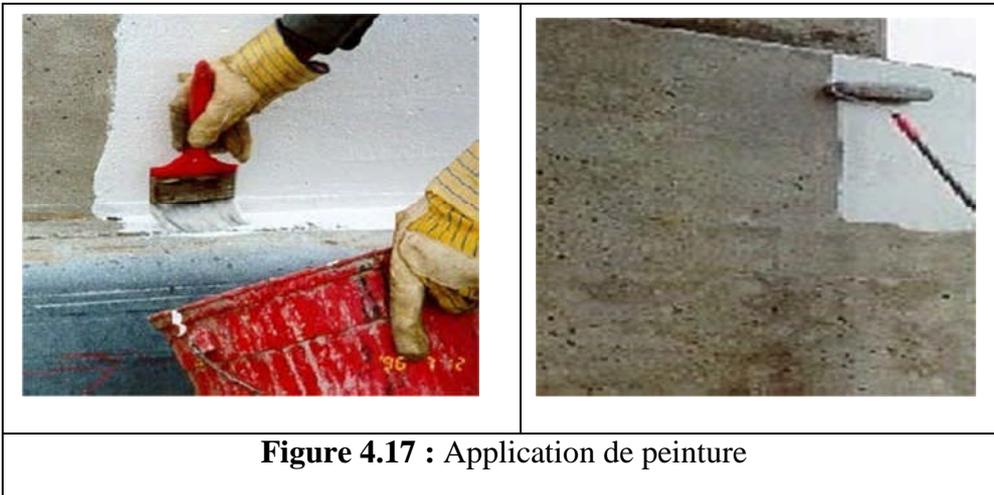
Pour sceller le carreau sur la chape, on doit réaliser un poudrage de chaux sur la chape

4.3.11. Peinture

Application de peinture : la dernière étape d'une opération de réhabilitation consiste à rénover la peinture

L'application de chaque couche de peinture doit permettre d'obtenir un feuil d'épaisseur uniforme: on doit appliquer chaque couche en autant dépasses croisées que nécessaire.

- Tout défaut doit être corrigé avant l'application de la couche suivante.
- Entre chaque couche, on doit respecter le délai de séchage « sec pour recouvrir



**CONCLUSION
GENERALE**

Arrivant à la fin de ce modeste travail, qui nous a donné une occasion pour appliquer et approfondir toutes nos connaissances acquises durant le cursus de formation.

Cette expérience nous a permis aussi de mieux comprendre le domaine de la réhabilitation des bâtiments qui nous a permis d'un coté de connaître les différentes techniques et d'un autre coté logiciel de calcul ainsi que la réglementation régissant les principes de réhabilitation et de calcul des ouvrages dans ce domaine, et développée les idées à partir de la lecture des différentes références bibliographiques et surtout grâce au côtoiement d'ingénieurs et de chercheurs dans le domaine de génie civil.

Notre étude a mis en évidence les conséquences d'une mauvaise maintenance du bâti existant sur les désordres relevés dans la structure, la solution proposée consiste, d'une part, à réparer les éléments endommagés, et d'autre part, à renforcer l'ouvrage par l'introduction des nouveaux éléments.

Il faut noter que l'opération de renforcement ou de réparation n'est efficace que si l'adhérence entre les nouveaux et les anciens éléments est convenablement réalisée, ainsi que les dispositions constructives faisant partie d'un ensemble de règles de dimensionnement.

L'application de la stratégie de renforcement provenant d'une philosophie de travail, ses moyens définis selon deux aspects principaux :

Aspect sécuritaire : la solution a eu comme but d'assurer un niveau de sécurité adéquat aux nouvelles sollicitations générées par l'action sismique définie selon le règlement adopté (RPA99-V. 2003),

Aspect économique : qui s'impose comme un critère majeur pour la détermination de la solution envisagée et par la suite du niveau de service à atteindre.

Mais cela n'exclut pas d'avoir d'autres possibilités de résoudre ce problème, en se référant toujours à la même approche : solution sécuritaire et économique

Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des expertises et du renforcement et de les mettre en application par l'étude d'un cas réel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Belhannachi H.(2009), Rehabilitation et renforcement des poteaux en Beton arme, Thèse de Magister sous la direction de H. CHABIL, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur, Université Mentouri, Constantine (algerie).

Bendeddouche K. & Bezzar A.(1996), comportement de la maçonnerie et modélisation numérique, Mémoire fin d'Etudes sous la direction de F.Ghomari et A.Megnounif, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur, Université A. belkaid, Tlemcen (algerie).

Boughezala M. & djaroun M. (2006), Etude capacitaire d'un bâtiment en béton arme, Mémoire fin d'Etudes sous la direction de H. AKNOUCHE et K. TOUNSI, Département de génie civil, Ecole Nationale des Travaux Publics, kouba, alger (algerie).

CESAR DIAZ GOMEZ, Comprendre les désordres structurels, Département de Constructions architecturales I de l'École technique supérieure d'architecture de Barcelone (Université polytechnique de Catalogne), Espagne, PDF.

Hamoul A. & Mansouri H. (2008), Etude de renforcement d'un immeuble d'habitation en R+4 avec sous sol, Mémoire fin d'Etudes sous la direction de M. LERARI, Département de génie civil, Ecole Nationale des Travaux Publics, kouba, alger (algerie).

Soukane S. & Dahli M. La Réhabilitation du patrimoine colonial 19ème 20ème dans le contexte du développement durable, Université de Tizi-Ouzou, Département d'architecture, Algérie, PDF.

Yahiaoui M. & Hellal R. (2001), Mur en maçonnerie : Revue historique et modélisation du comportement statique, Projet fin d'Etudes sous la direction de N. BOUMECHRA, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur, Université A. belkaid, Tlemcen (algerie).

Ayadi H. pathologie des ouvrages, directeur technique CTC-est, Algérie, PDF.

Document technique réglementaire DTRB.C.2.02, charges permanentes et charges exploitation.

Règles Parasismique Algériennes, RPA99/version2003»,

Règles charpente métallique, eurocode3

Technique de réhabilitation, Courde formation sous la direction de N. BOUMECHRA.

Photo AIN TEMOUCHENT, http://www.tenes.info/galerie/LABAS/AIN_TEMOUCHENT ,

<http://antoine.gras.pagesperso-orange.fr/ain-temochent.htm>